

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Dynamické zatížení v okolí tramvajových výhybek

Dynamic Load around Tramway Switches

Student

Jan Šoustal

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Stolárik, Ph.D.

Ostrava 2021

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Šoustal

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3647R017 Geotechnika

Téma:

Dynamické zatížení v okolí tramvajových výhybek
Dynamic Load around Tramway Switches

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod

Rešerše

Vlastní experimentální měření

Zhodnocení výsledků z měření

Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice*. Monografie. 2008, Ostrava. ISBN 978-80-2481795-5
- [2] SARSBY, R. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Limited, 2000, London. ISBN 978-0727727527
- [3] TOWHATA, I. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer, 2008. Berlin. ISBN 978-3-540-35783-4
- [4] ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, Český normalizační institut, 1996, Praha.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.“

V Ostravě, dne

Podpis studenta

Prohlašuji:

- Byl jsem seznámen s tím, že se na mou bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá mírou dynamického zatížení v okolí tramvajových výhybek. Tato problematika byla vyhodnocována na základě naměřených dat in-situ v kolmém profilu k jazyku výhybky. Měření probíhalo na pěti lokalitách digitální třísložkovou záznamovou aparaturou BRS-32. Zpracování naměřených hodnot bylo prováděno v programu BR Monitor. Z hodnot byly vytvořeny grafy průběhu vibrací v horninovém prostředí od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti. Následně z těchto bodů byly vytvořeny útlumové křivky.

Součástí práce je představení tramvajového vozového parku města Ostrava. Na zkoumaných lokalitách byl proveden geologický průzkum a následně byly vyhotoveny v programu RockWorks 3D modely a řezy zájmovou oblastí.

Klíčová slova: Seismický impulz, přípovrchová geologie, tramvajová doprava, jazyk výhybky, maximální hodnoty amplitudy, hodnota regrese,

Annotation

This bachelor thesis deals with the degree of dynamic load in the vicinity of tram switches. This problem was evaluated on the basis of measured in-situ data in a perpendicular profile to the switch tongue. The measurements were performed at five locations with a digital three-component recording apparatus BRS-32. Processing of measured values was performed in the BR Monitor program. Graphs of vibrations in the rock environment from the source of the seismic impulse as a function of distance were created from the values. Subsequently, attenuation curves were created from these points.

Part of the work is a presentation of the tram fleet of the city of Ostrava. A geological survey was carried out at the investigated localities, and subsequently 3D models and sections of the area of interest were made in the RockWorks program.

Key words: Seismic impulse, subsurface geology, tram transport, switch language, maximum amplitude values, regression value

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinovi Stolárikovi Ph.D. za cenné rady a předané zkušenosti. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Miroslavovi Pinkovi za pomoc při měření.

Obsah

1. ÚVOD	1
2. POPIS VOZOVÉHO PARKU MĚSTA OSTRAVY	2
2.1. ČKD K2	2
2.2. ČKD T3	3
2.3. ČKD KT8D5.RN1	4
2.4. ČKD T6A5	5
2.5. Škoda – Inekon LTM 10.08 (ASTRA)	6
2.6. Inekon 2001 TRIO	7
2.7. Vario LFR	8
2.8. Vario LF2	9
2.9. Vario LF3	10
2.10. Stadler Tango NF2	11
3. MĚŘÍCÍ INSTRUMENTACE	13
3.1. Seismický záznamník BRS-32	13
3.2. Rychloměr Yukon Extend LRS-1000	14
4. POPIS LOKALIT MĚŘENÍ	15
4.1. Stanoviště U Vozovny	15
4.2. Stanoviště U Alberta	15
4.3. Stanoviště Hulvácká	16
4.4. Stanoviště Vřesinská - výhybka	16
4.5. Stanoviště Vřesinská - přímá	17
5. GEOLOGICKÝ PRŮZKUM MĚŘENÝCH LOKALIT	18
5.1. Lokalita U Vozovny	18
5.2. Lokalita U Alberta	20

5.3.	Lokalita Hulvácká.....	21
5.4.	Lokalita Vřesinská.....	23
6.	VLASTNÍ SEISMICKÉ MĚŘENÍ.....	25
6.1.	Průběh měření: Stanoviště U Vozovny	26
6.1.1.	Měření 19. 11. 2020	26
6.1.2.	Měření 26. 11. 2020	26
6.2.	Průběh měření: Stanoviště U Alberta	27
6.3.	Průběh měření: Stanoviště Hulvácká.....	28
6.4.	Průběh měření: Stanoviště Vřesinská	29
6.5.	Záznamy z měření	31
7.	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	33
7.1.	Stanoviště U Vozovny	33
7.2.	Stanoviště U Vozovny	37
7.3.	Stanoviště U Alberta.....	41
7.4.	Stanoviště Hulvácká	45
7.5.	Stanoviště Vřesinská výhybka.....	49
7.6.	Stanoviště Vřesinská přímá	51
8.	DISKUSE NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	55
9.	ZÁVĚR	60
	Seznam literatury.....	62

Seznam obrázků

Obrázek 1: ČKD K2 [1]	3
Obrázek 2: ČKD T3 [1].....	4
Obrázek 3: ČKD KT8D5.RN1 [1]	5
Obrázek 4: ČKD T6A5 [1].....	6
Obrázek 5: Škoda – Inekon LTM 10.08 [1]	7
Obrázek 6: Inekon 2001 TRIO [1]	8
Obrázek 7: Vario LFR [1]	9
Obrázek 8: Vario LF2 [1].....	10
Obrázek 9: Vario LF3 [1].....	11
Obrázek 10: Stadler Tango NF2 [1]	12
Obrázek 11: Seismický záznamník BRS-32 [3].....	14
Obrázek 12: Yukon Extend LRS-1000 [4].....	14
Obrázek 13: Stanoviště U Vozovny 49°83'39.98''N ; 18°16'98.47''E	15
Obrázek 14: Stanoviště u Alberta 49°82'91.03''N ; 18°18'90.88''E	16
Obrázek 15: Stanoviště Hulvácká 49°81'03.95''N ; 18°24'35.87''E.....	16
Obrázek 16: Stanoviště Vřesinská - výhybka 49°82'22.47''N ; 18°15'78.73''E.....	17
Obrázek 17: Stanoviště Vřesinská – přímá.....	17
Obrázek 18: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Vozovny).....	19
Obrázek 19: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Vozovny).....	19
Obrázek 20: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (U Vozovny).....	19
Obrázek 21: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Alberta)	20
Obrázek 22: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Alberta)	21
Obrázek 23: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (U Alberta).....	21
Obrázek 24: Řez horninového prostředí a situace řezu (Hulvácká).....	22
Obrázek 25: Řez horninového prostředí a situace řezu (Hulvácká).....	22
Obrázek 26: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (Hulvácká)	22
Obrázek 27: Řez horninového prostředí a situace řezu (Vřesinská)	23
Obrázek 28: Řez horninového prostředí a situace řezu (Vřesinská)	23
Obrázek 29: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (Vřesinská)	24
Obrázek 30: Popis výhybky	25
Obrázek 31: Rozmístění senzorů na stanovišti U Vozovny 19. 11. 2020	26
Obrázek 32: Rozmístění senzorů na stanovišti U Vozovny 26. 11. 2020	27

Obrázek 33: Probíhající měření na stanovišti U Vozovny	27
Obrázek 34: Rozmístění senzorů na stanovišti U Alberta 19. 11. 2020.....	28
Obrázek 35: Rozmístění senzorů na stanovišti Hulvácká 19. 11. 2020	29
Obrázek 36: Dokumentace měření, stanoviště Hulvácká.....	29
Obrázek 37: Rozmístění senzorů na stanovišti Vřesinská výhybka 26. 11. 2020.....	30
Obrázek 38: Situování prvního senzoru a průjezd tramvaje nOVA.....	30
Obrázek 39: Rozmístění senzorů na stanovišti Vřesinská přímá 26. 11. 2020	30
Obrázek 40: Rozmístění senzorů BRS-32.....	31
Obrázek 41: Přehledová stránka seismického záznamu v softwaru BRmonitor.....	31
Obrázek 42: Detail průjezdu soupravy v programu BRmonitor	32

Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní technické údaje ČKD K2 [1].....	2
Tabulka 2: Základní technické údaje ČKD T3 [1].....	4
Tabulka 3: Základní technické údaje ČKD KT8D5.RN1 [1].....	5
Tabulka 4: Základní technické údaje ČKD T6A5 [1]	6
Tabulka 5: Základní technické údaje Škoda – Inekon LTM 10.08 Astra [1].....	7
Tabulka 6: Základní technické údaje Inekon 2001 TRIO [1]	8
Tabulka 7: Základní technické údaje Vario LFR [1]	9
Tabulka 8: Základní technické údaje Vario LF2 [1]	10
Tabulka 9: Základní technické údaje Vario LF3 [1]	11
Tabulka 10: Základní technické údaje Stadler Tango NF2 [1]	12
Tabulka 11: Srovnání velikosti amplitudy vozu T3 [6] [7].....	55
Tabulka 12: Srovnání velikosti amplitudy vozu ČKD T6A5 [6] [7]	56
Tabulka 13: Srovnání velikosti amplitudy vozu Inekon 2001 Trio [6] [7]	56
Tabulka 14: Srovnání velikosti amplitudy vozu Vario LF [7]	57
Tabulka 15: Srovnání velikosti amplitudy vozu Vario LF3 [7]	57
Tabulka 16: Srovnání velikosti amplitudy vozu Inekon 2001 Trio [6] [7]	58
Tabulka 17: Srovnání velikosti amplitudy vozu ČKD T6A5 [6] [7]	58
Tabulka 18: Srovnání velikosti amplitudy vozu Inekon 2001 Trio [7].....	58

Seznam grafů

Graf 1: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou U Vozovny dne 19. 11. 2020	33
Graf 2: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58	34
Graf 3: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25	34
Graf 4: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 37	35
Graf 5: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr B	35
Graf 6: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr PV	36
Graf 7: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr PVV	36
Graf 8: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou U Vozovny 26. 11. 2020 ...	37
Graf 9: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58	38
Graf 10: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 55	38
Graf 11: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25	38
Graf 12: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr B	39
Graf 13: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr PV	39
Graf 14: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr PVV	40
Graf 15: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou U Alberta 19. 11. 2020....	41
Graf 16: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58	41
Graf 17: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25	42
Graf 18: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 37	42
Graf 19: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr PV	43
Graf 20: Průběh vybrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr M.....	43
Graf 21: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr T.....	44

Graf 22: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr MV	44
Graf 23: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou Hulvácká 19. 11. 2020	45
Graf 24: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58	45
Graf 25: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25	46
Graf 26: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 37	46
Graf 27: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr U	47
Graf 28: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr UV	47
Graf 29: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr F	48
Graf 30: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr FV	48
Graf 31: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou Vřesínská výhybka	49
Graf 32: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58	49
Graf 33: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 55	50
Graf 34: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25	50
Graf 35: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr R	51
Graf 36: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr ZV	51
Graf 37: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou Vřesínská přímá 26. 11. 2020	52
Graf 38: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58	52
Graf 39: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 55	53
Graf 40: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25	53
Graf 41: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr R	54
Graf 42: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr ZV	54

1. ÚVOD

S rozvojem infrastruktury města Ostravy, a tím i zvýšeného počtu obyvatel na jednom místě se kladou nároky na co nejmenší ekologickou náročnost. Jelikož pohyb automobilem po Ostravě, hlavně v časech dopravní špičky, je náročný a hlavně neekologický, přechází se na jiné alternativní metody cestování městem, ať už na autobusovou dopravou nebo právě na dopravu tramvajovou. Ovšem i tramvajová doprava má negativní vlivy na okolní prostředí. Hlavním problémem tramvajové dopravy jsou vibrace od projíždějících souprav, což upravuje nařízení vlády č. 272/2011 sb. [9]. V zastavených oblastech se v blízkosti tramvajových pásů nachází budovy, které mohou být poškozovány vlivem vibrací [12] [13]. Vzhledem k dlouhodobému vystavení budov vibracím se může zkracovat i navrhovaná životnost stavby. Zatížení na stavební objekty je pojednáváno v normě ČSN 73 0040 - Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. [5] [11]

Problematikou míry vibrací v horninovém prostředí vyvolané vlivem tramvajové dopravy se zabývají mnohé publikace. Tato bakalářská práce se věnuje problematice otřesů v okolí tramvajových výhybek a následné srovnání naměřených hodnot s předchozími publikacemi. Cílem bylo změřit v okolí tramvajových výhybek maximální hodnoty rychlosti kmitání, které byly vyvolány průjezdem tramvají.

V úvodu práce je představen vozový park města Ostravy. Jde o stručné seznámení s propozicemi jednotlivých vozů, které byly zaznamenány na stanovištích během měření. V následném bodě je uvedena měřicí instrumentace. Zaznamenávaly se míry vibrací v horninovém prostředí v dané lokalitě.

Stěžejní část práce se zabývá samotným měřením a jsou zde také představeny programy pro vyhodnocení naměřených hodnot. V závěrečné diskuzi jsou prezentovány výsledky se srovnáním s bakalářskými pracemi, které se této problematice již věnovaly. Jsou zde zhodnoceny výsledky při přejezdu tramvaje přes výhybku po hlavní koleji a přímo přes výhybku.

2. POPIS VOZOVÉHO PARKU MĚSTA OSTRAVY

Práce se zabývá měřením míry vibrací v okolí tramvajových výhybek. Tato kapitola je věnována tramvajím, které se nacházejí ve městě Ostrava. Bude popsán původ každého typu tramvaje a jednotlivé technické údaje. Mezi technické údaje řadíme parametry jako jsou rozměry, maximální rychlost a váha soupravy

2.1. ČKD K2

Jedná se o jednosměrný, dvoučlankový, šestinápravový, motorový tramvajový vůz. Soupravy byly vyráběny závodem Tatra Smíchov (ČKD Praha) (Obr. 1). Celkově bylo vyrobeno 569 souprav tohoto typu. Po zkušebním provozu prototypu tramvajové soupravy s označením K1 (evidenční číslo 801) následně úpravě a částečné modernizaci, převážně jeho elektrické části. Technické parametry vozu ČKD K2 jsou uvedeny v tabulce 1. Roku 1967 byly do vozového parku zařazeny první vozy s označením K2, v ostravských ulicích jezdí pod evidenčními čísly začínajícími číslem 8XX. Celkem se po Ostravě pohybovalo 10 tramvajů K2. Roku 2018 byl oficiálně ukončen provoz souprav K2 v Ostravě [1] [2] .

Tabulka 1: Základní technické údaje ČKD K2 [1]

Základní technické údaje ČKD K2	
Délka skříně	24 900 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu	3 050 mm
Hmotnost prázdného vozu	21 800 kg
Hmotnost plného vozu	33 800 kg
Počet míst k sezení/stání	49/108
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 1: ČKD K2 [1]

2.2. ČKD T3

Tento typ tramvaje se řadí mezi nejvíce vyráběný vůz na světě. Vyrobito se přes 14 000 kusů tramvaje T3, závodem Tatra Smíchov (ČKD Praha) (Obr. 2). Jedná se o jednosměrný, jednočlánkový, motorový, dvounápravový tramvajový vůz. Přičemž každá náprava je poháněna vlastním elektromotorem, které jsou trvale spojeny paralelně. Tento typ vozu lze použít jednotlivě nebo v soupravě dvou T3, zapojených do série. Proto je tento typ tramvaje tak v oblibě. Protože má možnost ve špičce připojení druhého vozu. Do ostravského vozového parku přibýlo prvních 20 vozů T3 roku 1965. Jelikož těchto typů tramvají se po Ostravě vystřídalo bezmála 250 kusů, jejich stádium modernizace se rozeznávalo podle jejich evidenčních čísel, která jsou umístěná ve přední části vozu. Technické parametry vozu ČKD T3 jsou uvedeny v tabulce 2. Vozy se začínajícím číslem 7XX se řadí mezi nejstarší typy T3, poté následovaly vozy s označením 9XX a 10XX, číslovka osm označovala tramvaje ČKD K2. T3 byla výrazně lehčí díky použití plastů a sklolaminátu. Tudiž se ostravské dopravě výrazně ulehčilo právě v ohledu vibrací přejezdu souprav. Díky tomu, že tento typ v ostravských ulicích jezdí dodnes, prošel si četnými modernizacemi jak po vizuální stránce, tak i v elektroinstalaci vozu. Celkem se po Ostravě pohybovalo 247 souprav v různém stádiu modernizace [1] [2] .

Tabulka 2: Základní technické údaje ČKD T3 [1]

Základní technické údaje ČKD T3	
Délka skříně	14 000 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu	3 059 mm
Hmotnost prázdného vozu	16 300 kg
Hmotnost plného vozu	27 500 kg
Počet míst k sezení/stání	31/72
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 2: ČKD T3 [1]

2.3. ČKD KT8D5.RN1

Označení RN1 je již modernizovaná verze. Předchůdce měl jen označení KT8D5. Tato tramvaj se poprvé v Ostravě objevila v roce 1988 (Obr. 3). Vozy měly evidenční čísla začínající číslovkou 15XX. Jednalo se o obousměrný, tříčlankový vůz. Tento typ před modernizací nebyl příliš využíván. Přílišnou výhodou nebyla ani jeho obousměrnost, jelikož ve většině měst jsou do sítě tramvají zařazené točny. Tudíž výhoda obousměrnosti ve značné míře odpadá. Dalším nesporným záporem této soupravy před modernizací je nutnost mít na každé straně dveře pro nástup a výstup pasažérů. Protože byly přítomny dveře z obou stran, nemohla tam být místa na sezení pro cestující. Po modernizaci byla tramvaj pouze jednosměrná, tříčlanková a díky uvolněnému prostoru místo dveří se zvětšila kapacita míst pro cestující. Technické parametry vozu ČKD KT8D5.RN1 jsou uvedeny v tabulce 3. Město

Ostrava používá dnes tyto vozy i díky nízkopodlažní skříni středního článku, je umožněn komfortní nástup cestujících na invalidním vozíku [1][2].

Tabulka 3: Základní technické údaje ČKD KT8D5.RN1 [1]

Základní technické údaje ČKD KT8D5.RN1	
Délka skříně	30 300 mm
Šířka skříně	2 480 mm
Výška vozu	3 550 mm
Hmotnost prázdného vozu	38 500 kg
Hmotnost plného vozu	61 600 kg
Počet míst k sezení/stání	63/157
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 3: ČKD KT8D5.RN1 [1]

2.4. ČKD T6A5

Označení T6A5 je finální verze této čtyřnápravové tramvaje, které předcházely prototypy s označením T6B5, T6A2 a jiné označení těchto prototypů, ze kterých vychází tato tramvaj jezdící v ulicích Ostravy od roku 1994. Tento typ tramvaje měl evidenční číslo začínající 11XX. Prototypy se od této verze lišily akorát rozměry a elektro vybavením. T6A5 byla vyráběna v letech 1991–1998 závodem Tatra Smíchov (ČKD Praha) (Obr. 4). Jedná se o nástupce vozu ČKD T3. Celkem bylo tohoto typu vyrobeno 296 vozů. Výhodou vozu je fakt, že lze za sebe zapojit až 3 vozy dle náročnosti dopravy. Technické parametry vozu ČKD

T6A5 jsou uvedeny v tabulce 4. Do dnešní doby se po Ostravě pohybuje 34 vozů, vždy jsou spojené v soupravě dva až tři vozy [1][2].

Tabulka 4: Základní technické údaje ČKD T6A5 [1]

Základní technické údaje ČKD T6A5	
Délka skříně	14 700 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu	3 165 mm
Hmotnost prázdného vozu	19 500 kg
Hmotnost plného vozu	31 500 kg
Počet míst k sezení/stání	30/85
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 4: ČKD T6A5 [1]

2.5. Škoda – Inekon LTM 10.08 (ASTRA)

Zvláštností tohoto vozu je vlastnost, že při brždění, díky elektrické výzbroji na střeše, vůz rekuperuje elektrický proud. Touto technologií snižuje celkovou spotřebu tramvaje. Astra, jak se tato tramvaj nazývá, je jednosměrný, částečně nízkopodlažní, čtyřnápravový vůz. Tři části, ze kterých se tramvaj skládá, jsou spojené kloubem a jsou průchozí (Obr. 5). Další zajímavostí je fakt, že prostřední část je zavěšená mezi krajní články. Již zmiňovaná prostřední část je nízkopodlažní. Tak je umožněn nástup osob s pohybovým omezením a kočárky. Krajní články jsou klasicky vysokopodlažní s dvounápravovými neotočnými

podvozky. Technické parametry vozu Škoda – Inekon LTM 10.08 jsou uvedeny v tabulce 5. Od roku 1997 do roku 2001 byly postupně tyto vozy řazeny do ostravské dopravy, bylo jim přiřazeno evidenční číslo začínající 12XX. Celkem Ostravský podnik zakoupil 15 těchto vozů [1][2].

Tabulka 5: Základní technické údaje Škoda – Inekon LTM 10.08 Astra [1]

Základní technické údaje Škoda – Inekon LTM 10.08 Astra	
Délka skříně	19 790 mm
Šířka skříně	2 460 mm
Výška vozu	3 460 mm
Hmotnost prázdného vozu	24 200 kg
Hmotnost plného vozu	38 500 kg
Počet míst k sezení/stání	41/113
Maximální rychlost	70 km/hod



Obrázek 5: Škoda – Inekon LTM 10.08 [1]

2.6. Inekon 2001 TRIO

Po ročním zkušebním provozu, roku 2003, začal Ostravský podnik rozšiřovat flotilu nízkopodlažních tramvají Inekon 2001 TRIO (Obr. 6). Díky tomu, že společnost Inekon ukončila spolupráci s výrobcem Škoda transportation s.r.o., byla nucena společnost Inekon najít jiný závod pro výrobu. Jejich poslední dítko, které vzniklo touto spoluprací, byla již dříve zmiňovaná Astra. Po úpravě designu a spojením s DPO Ostrava se začal vyrábět právě

vůz Inekon TRIO. Jedná se o stejnou koncepci jako jeho předchůdce Astra. Jednosměrný, opět částečně nízkopodlažní, čtyřnápravový vůz. Měl i stejnou koncepci, kdy prostřední část byla nízkopodlažní kloubově připojena na krajní články s pevnými podvozky. Ovšem jeho vzhled byl upraven. Technické parametry vozu Inekon 2001 TRIO jsou uvedeny v tabulce 6. Celkem do ostravských ulic vyjelo 9 kusů tohoto vozu, jelikož se jednalo o podobnou koncepci s vozem LTM 10.08, obdrželo také evidenční číslo 12XX [1][2].

Tabulka 6: Základní technické údaje Inekon 2001 TRIO [1]

Základní technické údaje Inekon 2001 TRIO	
Délka skříně	20 130 mm
Šířka skříně	2 460 mm
Výška vozu	3 460 mm
Hmotnost prázdného vozu	26 000 kg
Hmotnost plného vozu	41 200 kg
Počet míst k sezení/stání	41/128
Maximální rychlost	70 km/hod



Obrázek 6: Inekon 2001 TRIO [1]

2.7. Vario LFR

Vario vychází ze staršího typu tramvaje T3. LF v názvu vozu znamená Low Floor = anglicky nízká podlaha. I to napovídá, že musel být starší typ vozu T3 značně upraven nejen po vizuální stránce, ale musela být upravena i elektroinstalace, až po nově předělané podvozky.

Tak vznikl vůz Vario LFR (Obr. 7). Tento vůz se začal vyrábět roku 2004, v ostrém ostravském provozu se objevil až v roce 2005. Technické parametry vozu Vario LFR jsou uvedeny v tabulce 7. LFR obdržel od Ostravského podniku evidenční čísla s číslovkou 13XX. Oproti tramvaji T3, ze které tento vůz byl koncipován, má nízkopodlažní střední část vozu. Celkem se do ostravského provozu dostalo 63 vozů tohoto typu [1][2].

Tabulka 7: Základní technické údaje Vario LFR [1]

Základní technické údaje Vario LFR	
Délka skříně	15 100 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu	3 058 mm
Hmotnost prázdného vozu	21 200 kg
Hmotnost plného vozu	28 300 kg
Počet míst k sezení/stání	33/60
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 7: Vario LFR [1]

2.8. Vario LF2

Do ostravského provozu byl tento vůz zařazen roku 2007. Je dalším následovníkem nízkopodlažního vozu (Obr. 8). Tento šestnápravový vůz se skládá ze dvou částí, které jsou mezi sebou průchozí a jsou spojené kloubem s měchem. Technické parametry vozu Vario

LF2 jsou uvedeny v tabulce 8. Celkem se pohybují po Ostravě tři vozy s tímto označením, mají evidenční čísla 14XX [1][2].

Tabulka 8: Základní technické údaje Vario LF2 [1]

Základní technické údaje Vario LF2	
Délka skříně	22 600 mm
Šířka skříně	2 480 mm
Výška vozu	3 185 mm
Hmotnost prázdného vozu	31 500 kg
Hmotnost plného vozu	42 200 kg
Počet míst k sezení/stání	46/94
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 8: Vario LF2 [1]

2.9. Vario LF3

Tak jako byl nastolen směr nízkopodlažních tramvají v Ostravě, tak i LF3 není výjimkou (Obr. 9). Aby se zajistila provozuschopnost těchto vozů, dbalo se především na její univerzálnost, dalo by se tento vůz přirovnat ke stavebnici. Jedná se o vysokokapacitní, osminápravový, tříčlankový tramvajový vůz. Jednotlivé články jsou opět mezi sebou propojené kloubem s krycím měchem a celá tramvaj je průchozí. Technické parametry vozu Vario LF3 jsou uvedeny v tabulce 9. První vůz se v ulicích Ostravy objevil roku 2006 [1][2].

Tabulka 9: Základní technické údaje Vario LF3 [1]

Základní technické údaje Vario LF3	
Délka skříně	30 100 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu	3 085 mm
Hmotnost prázdného vozu	38 500 kg
Hmotnost plného vozu	61 600 kg
Počet míst k sezení/stání	61/168
Maximální rychlost	65 km/hod



Obrázek 9: Vario LF3 [1]

2.10. Stadler Tango NF2

Tato tramvaj jako vůbec první na území Ostravy je vyráběna výrobcem ze Švýcarska, Stadler (Obr. 10). Jedná se o dvoučláňkovou, kompletně nízkopodlažní tramvaj vybavenou třemi otočnými dvounápravovými podvozky, které mají flexibilní rám. Dva podvozky se nachází pod přední částí a zbylý třetí podvozek je umístěn pod zadní částí. Do horkých letních dnů je tramvaj vybavena klimatizací. Ostravský podnik si chtěl tramvaj pojmenovat tak, aby si ji každý pamatoval a aby vystihovala Ostravu, novotu, ráznost a rychlost, protože maximální rychlost této tramvaje je 80 km/h. Proto vybral název nOVA. Technické parametry vozu Stadler Tango NF2 jsou uvedeny v tabulce 10. Po Ostravě tyto tramvaje jezdí označené evidenčním číslem začínající číslovkou 17XX. Celkem DPO Ostrava zakoupil 40 těchto tramvajů [1][2].

Tabulka 10: Základní technické údaje Stadler Tango NF2 [1]

Základní technické údaje Stadler Tango NF2	
Délka skříně	24 900 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu	3 600 mm
Hmotnost prázdného vozu	34 500 kg
Hmotnost plného vozu	48 800 kg
Počet míst k sezení/stání	61/127
Maximální rychlost	80 km/hod



Obrázek 10: Stadler Tango NF2 [1]

3. MĚŘÍCÍ INSTRUMENTACE

3.1. Seismický záznamník BRS-32

Tímto přístrojem bylo prováděno veškeré měření, které se objeví níže v práci. Jedná se o vylepšenou verzi svých předchůdců BR1 a BR3, vyráběnou českým seismotektonickým oddělením ÚSMH AVČR, který spolupracoval s firmami ARENAL a TEDIA (Obr. 11). Přístroj splňuje přísné technické parametry pro náročné podmínky, ve kterých se může objevit. BRS má vlastní pohonný akumulátor, který na jedno nabití vydrží až 48 hodin, samozřejmě výdrž akumulátoru se může lišit. Tudíž je přístroj zcela přenosný a není závislý na vnějších zdrojích. Je osazen třísložkovým seismickým geofonem. Jeho data nemusí být nutně ukládána do interní paměti, ale má vlastní USB výstup, díky kterému se data mohou ukládat do externího disku o kapacitě až 32 GB. Dále je možné přes USB rozhraní stahovat data z interní paměti a nastavovat parametry vlastního přístroje. Dynamický a frekvenční rozsah BRS se pohybuje od 0,5 Hz do 80 Hz při dynamice až 120 dB. Aby byl přístroj orientovaný v čase a prostoru je osazen přesným GPS modulem, který se po zapnutí automaticky připojí k GPS signálu. Výhoda tohoto přístroje spočívá v jednoduchosti obsluhy a dalším nesporným kladem je možnost výměny senzorického vybavení nebo v krajním řešení lze připojit externí snímač. [3] [10]

Měří se kontinuálně třísložkový záznam seismických vlnových průběhů. Jelikož se jedná o velký objem dat, BRS každých 40 minut ukládá naměřené údaje do interní paměti ve formátu bin. Aby se soubory nepletly, vytvoří v interní paměti složku s datem měření, do které se postupně ukládají čtyřicetiminutové úseky. Jde o datový formát, ve kterém jsou uloženy datum a čas počátku měření, kódové označení stanice, počet uložených vlnových fází a vzorkovací frekvence [Hz]. Protože se jedná o kódovaný formát, v každém přístroji je uložený software BRmonitor, ve kterém tento soubor lze otevřít a podrobit data rozboru. Při něm vidíme průběh měření seismicity a samotné anomálie při měření, které můžeme podrobit detailnějšímu průzkumu v excelové tabulce, jež je výrobcem taktéž dodávána s přístrojem. Bohužel detailněji prozkoumat lze pouze pětisekundové intervaly, kvůli objemu dat a faktu, že při delšímu úseku by byla potřeba výkonná počítačová jednotka. [3] [10]



Obrázek 11: Seismický záznamník BRS-32 [3]

3.2. Rychloměr Yukon Extend LRS-1000

Vzhledem ke spojitosti rychlosti tramvají a míry vibrací na výhybce byl pro měření rychlosti tramvají využit rychloměr Yukon Extend LRS-1000 (Obr. 12). Tímto přístrojem byly měřeny vzdálenosti a rychlost tramvají. Rychloměr byl využit převážně z důvodu dokázání faktu, že s roustoucí pojezdovou rychlostí roste radikálně i míra vibrací. Rychloměr byl využit při měření seismicity na stanovišti. Kromě možnosti měření rychlosti, kterou umí měřit v rozsahu 5 až 300 km/h, se dá měřit i vzdálenost v rozsahu 5 až 1000 metrů. Přístroj je vybaven šestinásobně zvětšující optikou. Pro měření využívá pulsního laseru s nízkým výkonem. Tento fakt je velmi důležitý, aby nedošlo k oslnění řidiče tramvaje [4].



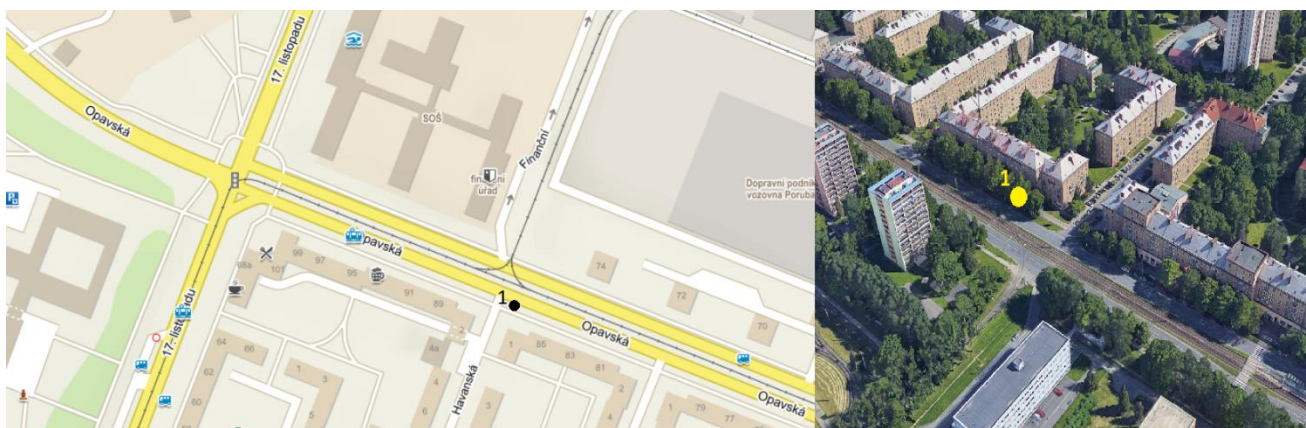
Obrázek 12: Yukon Extend LRS-1000 [4]

4. POPIS LOKALIT MĚŘENÍ

Měření probíhalo ve dvou dnech. V rozestupu sedmi dní na celkem šesti stanovištích. Jednotlivá stanoviště jsou popsána níže. K jednotlivým stanovištím byly přiřazeny pracovní názvy. Povětšinou se pracovní názvy odvíjí od tramvajové zastávky nedaleko stanoviště, kde bylo měřeno. Byly vybrány odlišné lokality. Měření probíhalo v lokalitách zcela bez zástavby, ale i blízkosti rodinných domů, administrativních budov, panelových či obchodních domů, kdy právě v zástavbě se můžeme setkat se zkrácenou životností staveb následkem opakujících se vibrací v bezprostřední blízkosti výhybek. [5]

4.1. Stanoviště U Vozovny

Stanoviště U Vozovny se nachází v Ostravě - Poruba mezi tramvajovými zastávkami Rektorát VŠB a zastávkou Poruba vozovna, směrem na Svinov Mosty (Obr. 13). V této lokalitě bylo měřeno dvakrát ve dnech 19. 11. 2020 a 26. 11. 2020. K důležitosti posouzení vibrací v daném místě bylo měření prováděno vždy ve stejný čas. Stanoviště U Vozovny je velmi frekventované, kdy za velmi krátký časový úsek bylo naměřeno 26 průjezdů tramvají.



Obrázek 13: Stanoviště U Vozovny $49^{\circ}83'39.98''N$; $18^{\circ}16'98.47''E$

4.2. Stanoviště U Alberta

Stanoviště bylo pojmenováno podle nedalekého nákupního centra Albert. Stanoviště se nachází v blízkosti tramvajové zastávky Telekomunikační škola, směr Svinov Mosty (Obr. 14). Opět se jedná o velmi frekventované místo. Vzhledem k velkému pohybu chodců bylo nutné umístit měřicí aparaturu mimo chodník, aby nedošlo ke střetu s chodcem. Tento fakt by mohl narušit probíhající měření. Měření započalo dne 19. 11. 2020 v 11:40 a bylo ukončeno 12:15. Bylo zaznamenáno 28 průjezdů.

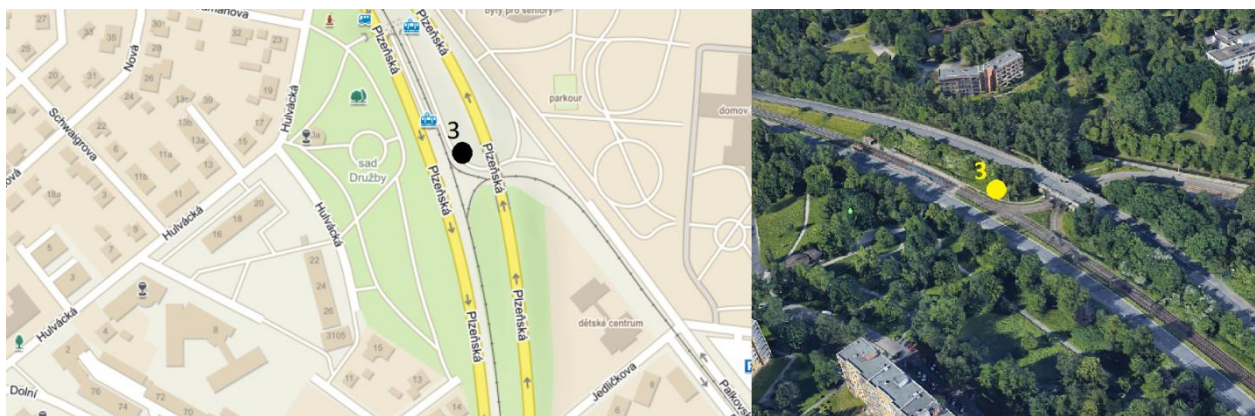


Obrázek 14: Stanoviště u Alberta $49^{\circ}82'91.03''N$; $18^{\circ}18'90.88''E$

4.3. Stanoviště Hulvácká

Stanoviště Hulvácká bylo pojmenováno podle nedaleké tramvajové zastávky. Stanoviště je umístěno mimo centrum města (Obr. 15).

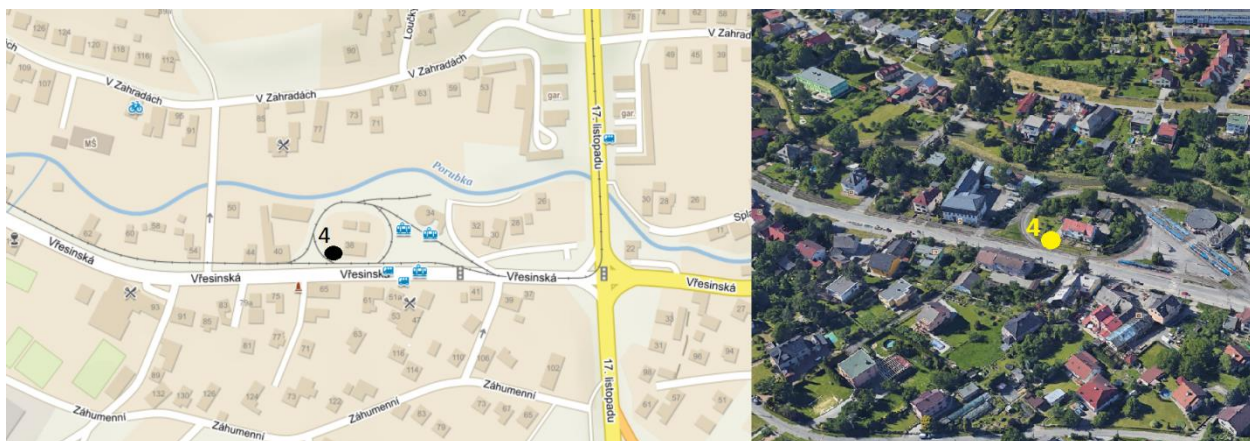
Stanoviště se nacházelo v ostré zatáčce, mohlo být tak zřejmé pozorovat zrychlení souprav. Měření probíhalo dne 19. 11. 2020, započalo 12:58 a ukončeno bylo v 13:40. Zaznamenalo se 27 průjezdů souprav.



Obrázek 15: Stanoviště Hulvácká $49^{\circ}81'03.95''N$; $18^{\circ}24'35.87''E$

4.4. Stanoviště Vřesinská - výhybka

Na tomto stanovišti bylo měřeno v bezprostřední blízkosti výhybky (Obr. 16). Jedná se o méně frekventovanou lokalitu, tudíž frekvence průjezdů tramvají byla nižší než v jiných lokalitách. Měření probíhalo dne 26. 11. 2020 za nepříznivého počasí. Během tohoto měření bylo zaznamenáno 19 průjezdů. Začátek měření byl 12:06 a čas ukončení měření byl 13:19.

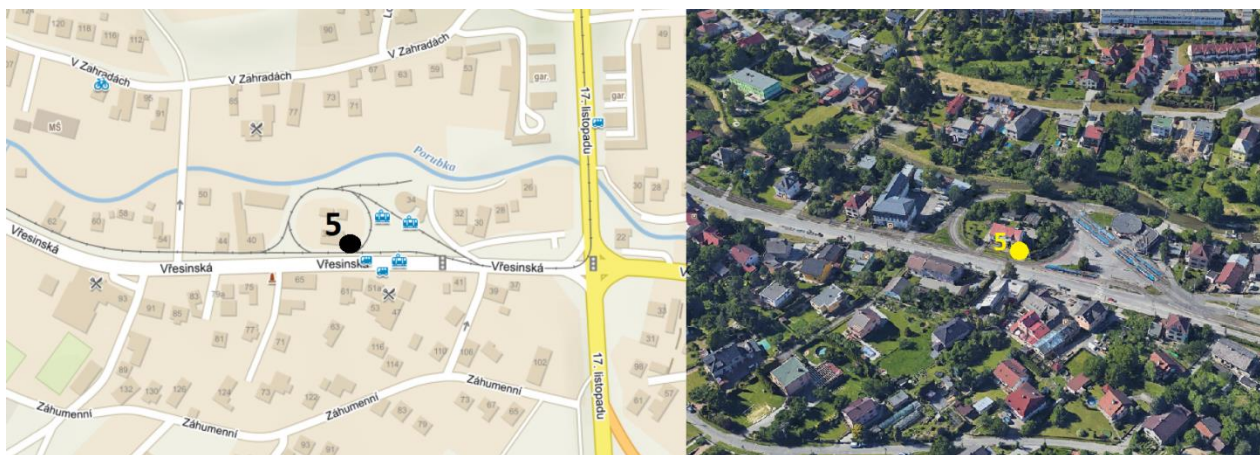


Obrázek 16: Stanoviště Vřesinská - výhybka $49^{\circ}82'22.47''N$; $18^{\circ}15'78.73''E$

4.5. Stanoviště Vřesinská - přímá

Aby byly porovnány výsledky s měřením přímo v dané lokalitě, byla měřicí aparatura přesunuta o deset metrů od předchozího místa měření (Vřesinská – výhybka) (Obr. 17). Aby bylo možno výsledky porovnat, bylo měření prováděno opět v úrovni výhybky.

Měření probíhalo dne 26. 11. 2020 za nepříznivého počasí. Během tohoto měření bylo zaznamenáno 15 průjezdů souprav. Začátek měření byl 13:29 a bylo ukončeno 14:32.



Obrázek 17: Stanoviště Vřesinská – přímá

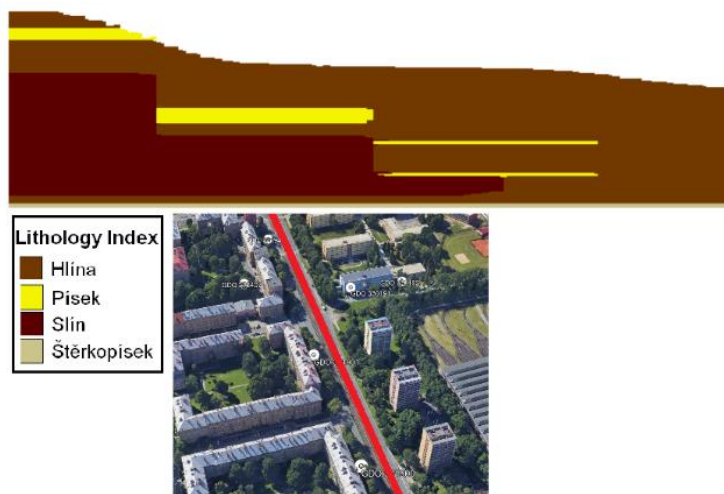
5. GEOLOGICKÝ PRŮZKUM MĚŘENÝCH LOKALIT

Míra vibrací, její síla a rychlost šíření je přímo závislá na stavbě podloží. Vzhledem k tomuto faktu byly v zájmových lokalitách vybrány průzkumné vrty. Data o jednotlivých vrtech byla poskytnuta geofondem. Důraz byl kladen na to, aby vrty byly co nejnovější. Díky tomu byly získány co nejpřesnější informace o podloží v dané lokalitě. V některých místech však bylo nutné požádat o starší typy vrtů. Vrty byly vybírány v návaznosti na zájmová území. Některé vrty se nacházely v přímé blízkosti výhybky. Na lokalitě Vřesinská byly zvoleny vrty ve větší vzdálenosti od místa měření.

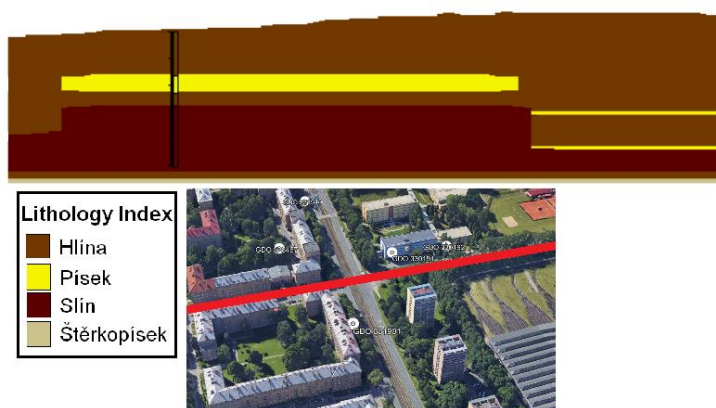
Obecně lze konstatovat, že čím je podloží soudržnější, tím se vibrace od projíždějících tramvají více šíří. Z informací o jednotlivých vrtech nebyla zjištěna hladina podzemní vody u všech vrtů, proto se s touto hodnotou nepracovalo. V každé lokalitě bylo vybráno alespoň 6 vrtů, které se nacházely v přímé blízkosti výhybky. [5]

5.1. Lokalita U Vozovny

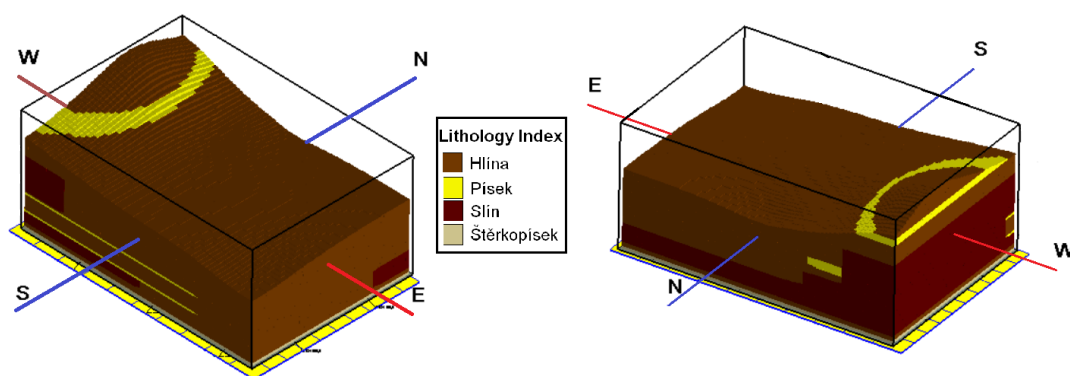
V této lokalitě bylo vybráno 6 inženýrsko geologických vrtů, které se nacházely v přímé blízkosti měřené oblasti. Vrty jsou evidovány v databázi České geologické služby. Hloubka samotných vrtů se pohybovala od 8 do 12 metrů. V lokalitě se nachází v hloubce 0,3 m ornice. Zjednodušeně lze říct, že ornice je hlína s větším podílem humusovité složky. Dále se v horizontu 2,8 – 3,3 m nachází hlína sprašová, místy s příměsí písku nebo šterkovité složky. Hluběji se střídají písčité lavice a slín. Písek se nachází v horizontu 3,3 – 4,6 metrů, je silně vlhký, jelikož hladina podzemní vody byla zde zastižena v hloubce 3,1 metrů. Poté se v prostředí střídá písek s hlínou a slínem, který byl zjištěn v hloubce 4,5 metrů. Díky poskytnutým vrtům byl v programu RockWorks vytvořen řez prostředím vodorovně s tramvajovým pásem a kolmo na směr (Obr. 18, 19). Dále v programu RockWorks byl vytvořen 3D model zájmové lokality (Obr. 20).



Obrázek 18: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Vozovny)



Obrázek 19: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Vozovny)



Obrázek 20: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (U Vozovny)

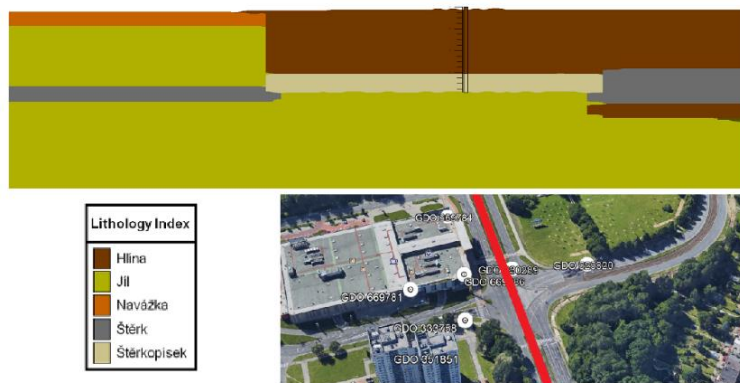
5.2. Lokalita U Alberta

Díky přítomnosti obchodního domu Albert, jenž byl vystavěn nedávno, byly vrty aktuální. Bylo zvoleno 7 průzkumných vrtů, které jsou zaznamenány v evidenci České geologické služby.

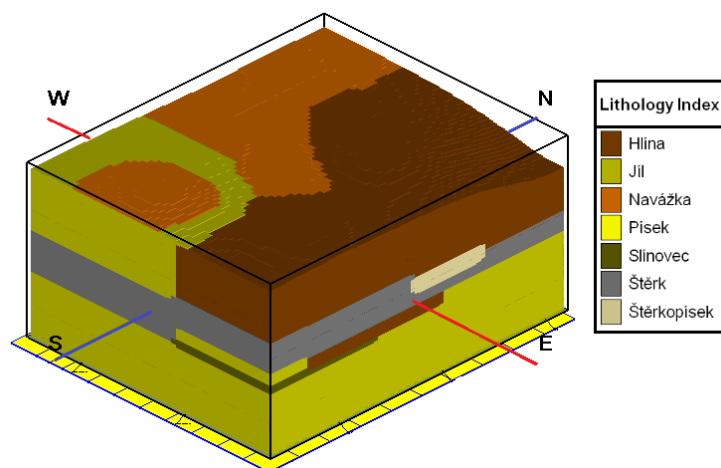
Hloubka vrtů se zde pohybuje v rozmezí 8-16 metrů. Právě hlubší vrty jsou z této lokality nejmladší. Do hloubky 1 metru se střídá navážka s hlínou. Hlína pokračuje i do hlubších pater profilu. Nachází se zde jílový sloup, který se nachází od 0,5 do 6 metrů. Okolo tohoto jílového sloupu se vyskytuje hlína, jež sahá do hloubky taktéž 6 metrů. Poté je hlína nahrazena štěrkem, který místy přechází do formy štěrkopísku. Tato vrstva má mocnost 2 metry, tudíž spodní hranice této štěrkové vrstvy končí v 8 metrech. Konečnou vrstvou je jíl. Hladina podzemní vody je zachycena v hloubce 6,2 metrů, právě v štěrkové/štěrpopískové vrstvě. Ale díky faktu, že se zde nachází jílový sloup, který sahá defakto až k povrchu, je zde hladina podzemní vody dosti kolísá. V nedalekém vrtu právě za jílovým sloupem je hladina podzemní vody zachycena v hloubce 8,1 metrů. Opět byly vytvořeny řezy v dané lokalitě. Jelikož se jedná o výhybku do písmene T, jsou řezy vedené vodorovně na jeden směr tramvajového pásu a kolmo na směr druhý. Řezy a 3D model lokality U Alberta jsou prováděné v programu RockWorks (Obr. 21, 22, 23).



Obrázek 21: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Alberta)



Obrázek 22: Řez horninového prostředí a situace řezu (U Alberta)

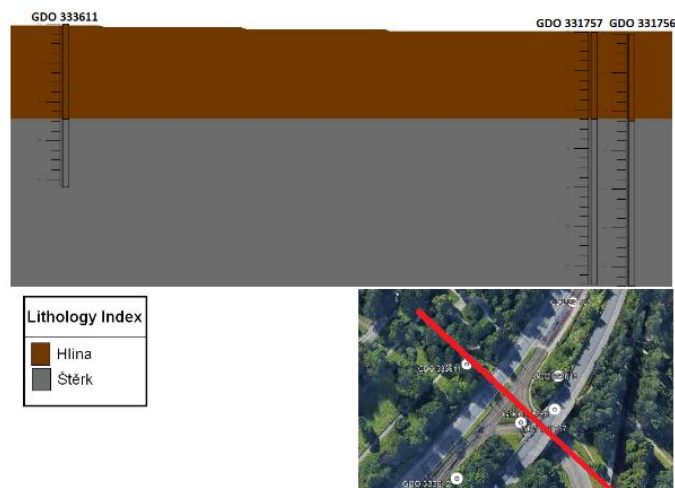


Obrázek 23: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (U Alberta)

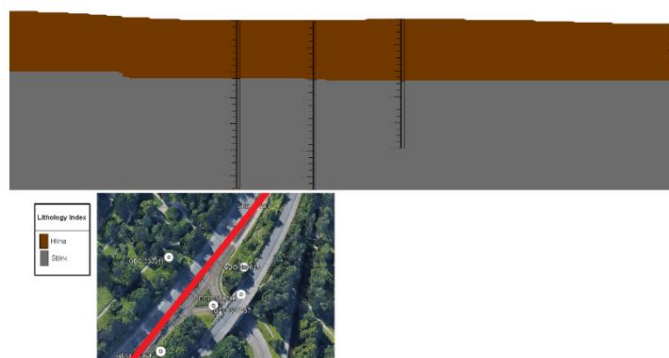
5.3. Lokalita Hulvácká

Hloubka vrtů v této lokalitě byla 3 až 12 metrů. Opět byly vrty poskytnuty Českou geologickou službou. V této lokalitě se podzemní vodu nepodařilo zastihnout. Tudíž prostředí je bez přítomnosti podzemní vody a nejsou tedy vibrací nijak přítomností vody ovlivněné. Do hloubky 0,5 metrů sahá ornice. Od této hranice se nachází hlína. Ta sahá do hloubky 4,5 – 4,9 metrů. Poté hlínu střídá štěrť, který je poslední vrstvou zastiženou vrty v této lokalitě.

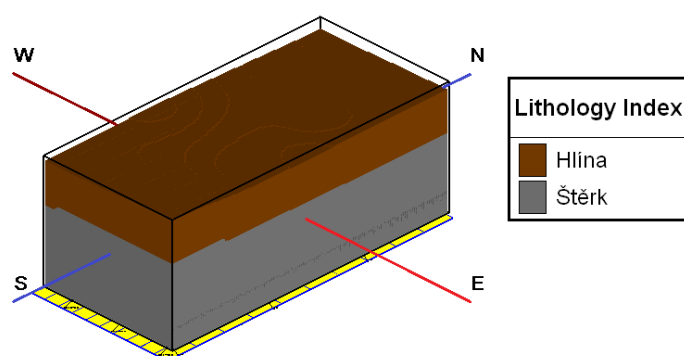
V programu RockWorks byl vytvořen řez prostředím, rovnoběžně a kolmo na tramvajový pás (Obr. 24, 25) a rovněž byl vytvořen 3D model zájmové oblasti (Obr. 26).



Obrázek 24: Řez horninového prostředí a situace řezu (Hulvácká)



Obrázek 25: Řez horninového prostředí a situace řezu (Hulvácká)



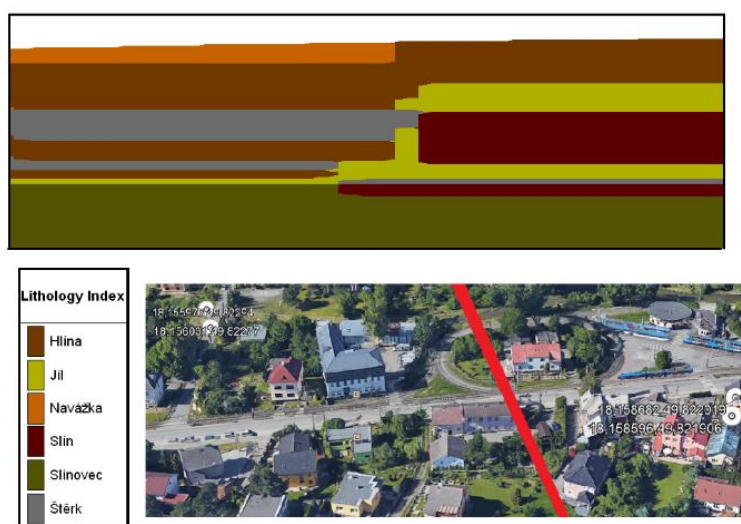
Obrázek 26: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (Hulvácká)

5.4. Lokalita Vřesinská

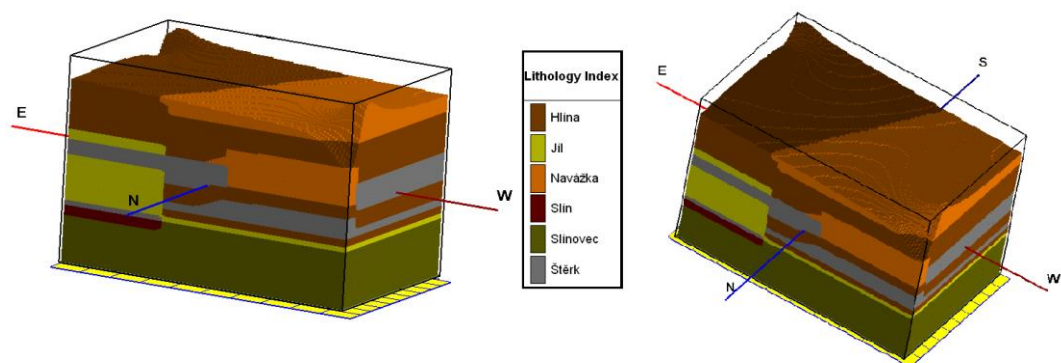
V této lokalitě byly v bezprostřední blízkosti zjištěny pouze 4 vrty. Vrtly byly poskytnuty Českou geologickou službou. Nedaleko lokality se nachází řeka Porubka. Vzhledem k tomu byla zjištěná vysoká hladina podzemní vody. Do hloubky 1,6 metrů se hlína střídá s navážkou. Od této hloubky pokračuje hlína střídající se s jílem, štěrkem a slínem. Šterk se nachází až do hloubky 4,6 metrů, jíl do hloubky 8,8 metrů. A hlína sahá do hloubky 7 metrů. Jako nejhlubší vrstva byla zastížena vrstva slínovce. Opět byly vytvořeny dva řezy lokalitou a 3D řez lokality, v programu RockWorks (Obr. 27, 28, 29).



Obrázek 27: Řez horninového prostředí a situace řezu (Vřesinská)



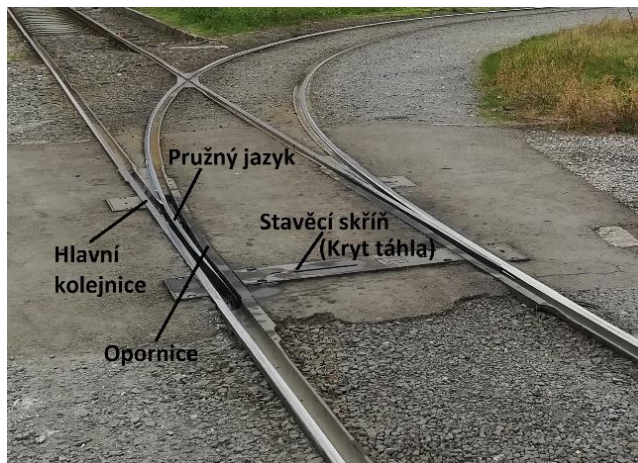
Obrázek 28: Řez horninového prostředí a situace řezu (Vřesinská)



Obrázek 29: Model horninového prostředí pod měřenou lokalitou (Vřesinská)

6. VLASTNÍ SEISMICKÉ MĚŘENÍ

Měření probíhalo ve dvou dnech, pokaždé na třech lokalitách. Na jedné lokalitě proběhlo měření dvakrát. K měření bylo použito tří přístrojů BRS-32. Přístroje byly vypůjčeny z Katedry geotechniky. Před zahájením měření bylo nutné stanovit co nejkolmější profil ke kolejišti. Přístroje se umísťovaly na úroveň jazyku výhybky, kde jsou očekávány největší vibrace (Obr. 30).



Obrázek 30: Popis výhybky

Dne 19. 11. 2020 se měřilo přístroji s evidenčními čísly 58, 25, 37. Ke každému stanovišti byl před začátkem měření vytvořen náčrt situace, kde byly označeny jednotlivé směry jízdy tramvaje. Směry jízdy tramvaje byly během měření také zaznamenávány. Bylo nutné zaznamenávat i čas průjezdu, kdy jednotlivé soupravy projížděly kolem měřících aparatur. Dále byly zaznamenávány evidenční čísla vozů a linek. Díky tomu byly určeny typy vozů.

Přístroj 58 byl vždy umísťován nejbližší kolejišti. Následně byl uložen přístroj 25 a jako nejvzdálenější byl umístěn přístroj 37.

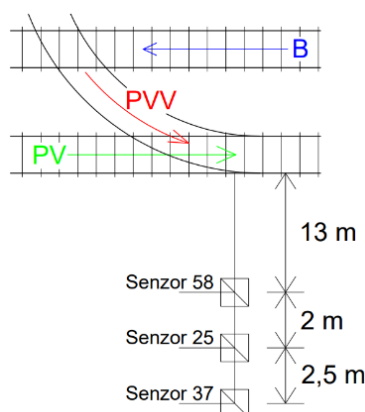
Druhý den měření 26. 11. 2020, měřilo se opět na třech stanovištích. Byly použity aparatury s evidenčními čísly 58, 55, 25.

6.1. Průběh měření: Stanoviště U Vozovny

Na tomto stanovišti bylo měřeno v obou měřicích dnech a to 19. 11. 2020 a 26. 11. 2020. Vozy se zde pohybovaly v rozmezí 9 km/h až po 20 km/h.

6.1.1. Měření 19. 11. 2020

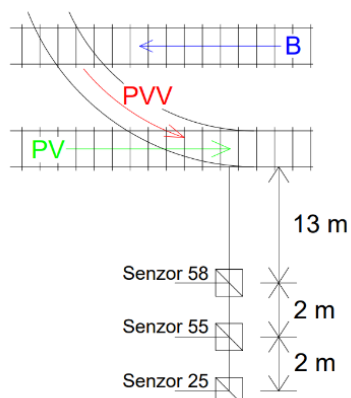
První z trojice přístrojů byl ustanoven ve vzdálenosti 13 metrů od bližšího tramvajového pásu, směr Poruba Vozovna. Konkrétně to byl senzor s evidenčním číslem 58. Ve vzdálenosti 2 metrů od prvního senzoru byl umístěn druhý senzor, evidenční číslo 25. Jako poslední byl dán ve vzdálenosti 2,5 metrů senzor s evidenčním číslem 37. Před umístěním senzorů bylo nutné vytyčit kolmici k jazyku výhybky (Obr. 31). Vzhledem k přítomnosti silnice mezi místem měření a kolejí nebylo zcela možné provést měření v bezprostřední blízkosti tramvaje. Měření probíhalo 60 minut a u žádného ze senzorů se nevyskytl technický problém. Během této doby bylo zaznamenáno 26 průjezdů souprav. Přitom po bližší koleji (směr tramvajová zastávka Poruba Vozovna) projelo 16 souprav. Z těchto souprav přímo po výhybce jelo 5 souprav. Na vzdálenější koleji projelo zbylých 10 souprav.



Obrázek 31: Rozmístění senzorů na stanovišti U Vozovny 19. 11. 2020

6.1.2. Měření 26. 11. 2020

Pro druhý den měření byly použity senzory s evidenčními čísly 58, 55, 25, kdy první zmiňovaný byl umístěn opět nejbližší a to ve vzdálenosti 13 metrů od bližší koleje (Obr. 32, 33). Znovu to byla kolej směr Poruba Vozovna. Druhý zmiňovaný senzor byl vzdálen 2 metry od senzoru 58. Zaznamenáno bylo shodných 26 měření, jako při prvním měření. Směrem k tramvajové zastávce Poruba Vozovna jelo 16 souprav. Z toho 5 souprav jelo přímo po výhybce. Zbylých 10 souprav jelo opět směrem k tramvajové zastávce Rektorát VŠB.



Obrázek 32: Rozmístění senzorů na stanovišti U Vozovny 26. 11. 2020



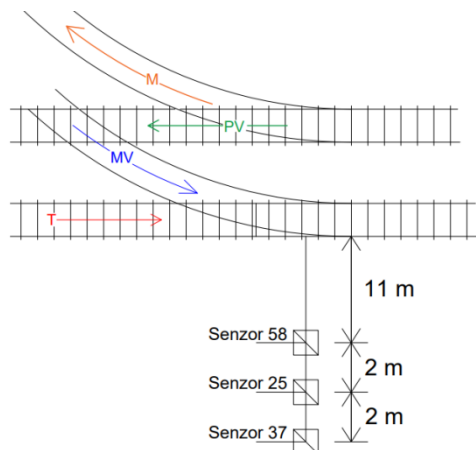
Obrázek 33: Probíhající měření na stanovišti U Vozovny

6.2. Průběh měření: Stanoviště U Alberta

Na tomto stanovišti probíhalo měření dne 19. 11. 2020. Měření trvalo 45 minut. Rychlost projíždějících souprav se pohybovala od 9 do 32 km/h. Jelikož se na vzdálenější koleji nachází tramvajová zastávka, neměly vozy při průjezdu přes vzdálenější výhybku velkou rychlost.

První ze senzorů byl vzdálen 11 metrů od bližšího tramvajového pásu. Zde byl umístěn senzor s evidenčním číslem 58. Poté ve vzdálenosti dvou metrů byl dán druhý senzor (evidenční číslo 25) a stejnou vzdáleností dvou metrů byl umístěn třetí senzor (evidenční číslo 37) (Obr. 34). Zaznamenalo se 28 průjezdů. Přičemž po bližší koleji projelo 17 souprav.

Opět zde budou rozlišovány soupravy jedoucí po přímé koleji a soupravy přímo jedoucí přes výhybku. Průjezd přes výhybku byl zaznamenán v 7 případech. Po vzdálenější koleji bylo zaznamenáno 11 průjezdů.



Obrázek 34: Rozmístění senzorů na stanovišti U Alberta 19. 11. 2020

6.3. Průběh měření: Stanoviště Hulvácká

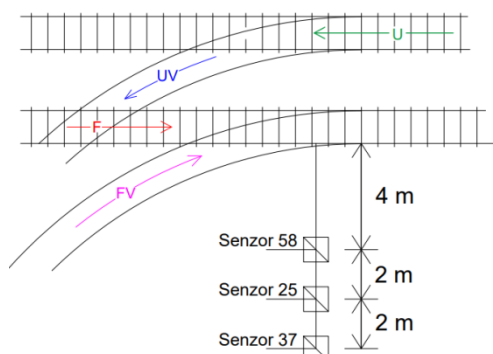
Třetí a zároveň poslední stanoviště, na kterém se 19.11. 2020 měřilo, bylo stanoviště Hulvácká. Jedná se o méně frekventované místo, a proto byly přístroje BRS-32 umístěny v bezprostřední blízkosti výhybky. Před měřením se opět stanovil kolmý směr od jazyku výhybky. Rychlost souprav na tomto stanovišti se pohybovala v rozmezí 13 – 18 km/h. První senzor (evidenční číslo 58) byl umístěn 4 metry od kolejiště (Obr. 35, 36). Druhý senzor (evidenční číslo 25) byl položen dva metry od prvního. A stejná vzdálenost byla mezi třetím (evidenční číslo 37) a druhým senzorem. Měření na tomto stanovišti trvalo hodinu a zaznamenalo se 27 průjezdů souprav. Vzhledem k menší přehlednosti na stanovišti byly projíždějící tramvaje řazeny do čtyř skupin.

(FV) *Soupravy projíždějící po bližší koleji po výhybce.* V tomto případě bylo zaznamenáno 10 průjezdů.

(F) *Soupravy projíždějící po bližší koleji z přímého směru.* Do této skupiny budeme řadit 4 průjezdy, kdy jela souprava po hlavní koleji výhybky.

(UV) *Soupravy projíždějící po vzdálenější koleji s využitím výhybky.* Zde bylo zaznamenáno 8 průjezdů.

(U) *Soupravy projíždějící po vzdálenější hlavní koleji výhybky.* Bylo zaznamenáno 5 průjezdů souprav.



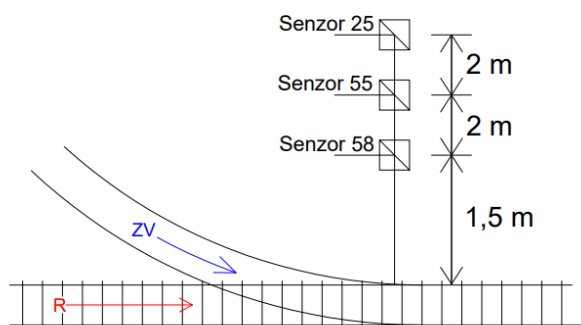
Obrázek 35: Rozmístění senzorů na stanovišti Hulvácká 19. 11. 2020



Obrázek 36: Dokumentace měření, stanoviště Hulvácká

6.4. Průběh měření: Stanoviště Vřesinská

Poslední stanoviště, na kterém se měřilo dne 26. 11. 2020, bylo stanoviště Vřesinská. Stanoviště bylo pojmenováno dle nedaleké tramvajové zastávky Vřesinská. Jedná se o točnu tramvají. Na tomto stanovišti se rychlost pohybovala v rozmezí 8 – 16 km/h. Na tomto stanovišti se nachází dvě výhybky. Měřilo se na dvou místech, opět třemi přístroji BRS-32. Umístění prvního senzoru bylo 1,5 metrů od výhybky (evidenční číslo 58). Poté mezi prvním a druhým senzorem (evidenční číslo 55) byla vzdálenost dvou metrů. Stejná vzdálenost byla i mezi druhým a třetím senzorem (evidenční číslo 25) (Obr. 37, 38).



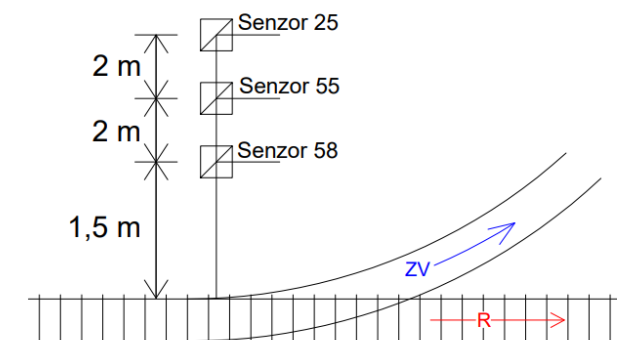
Obrázek 37: Rozmístění senzorů na stanovišti Vřesinská výhybka 26. 11. 2020



Obrázek 38: Situování prvního senzoru a průjezd tramvaje nOVA

První místo měření bylo pojmenováno jako výhybka. Zde soupravy vyjížděly z točny, a proto zde byla malá rychlost vozů. Měření probíhalo 60 minut a bylo zaznamenáno 19 průjezdů. 16 průjezdů vozů bylo právě z točny a 3 průjezdy byly po hlavní koleji.

Druhé místo bylo pojmenované jako přímá. Měření probíhalo 70 minut. Zaznamenalo se 14 průjezdů. Po hlavní koleji projelo kolem senzorů 12 souprav. Přes výhybku jely dvě soupravy (Obr. 39, 40).



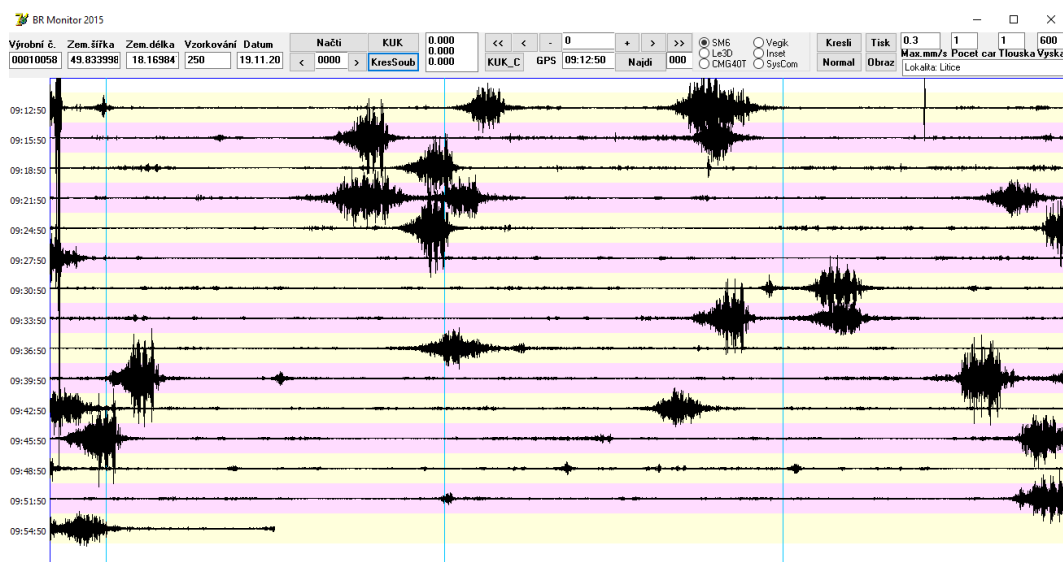
Obrázek 39: Rozmístění senzorů na stanovišti Vřesinská přímá 26. 11. 2020



Obrázek 40: Rozmístění senzorů BRS-32

6.5. Záznamy z měření

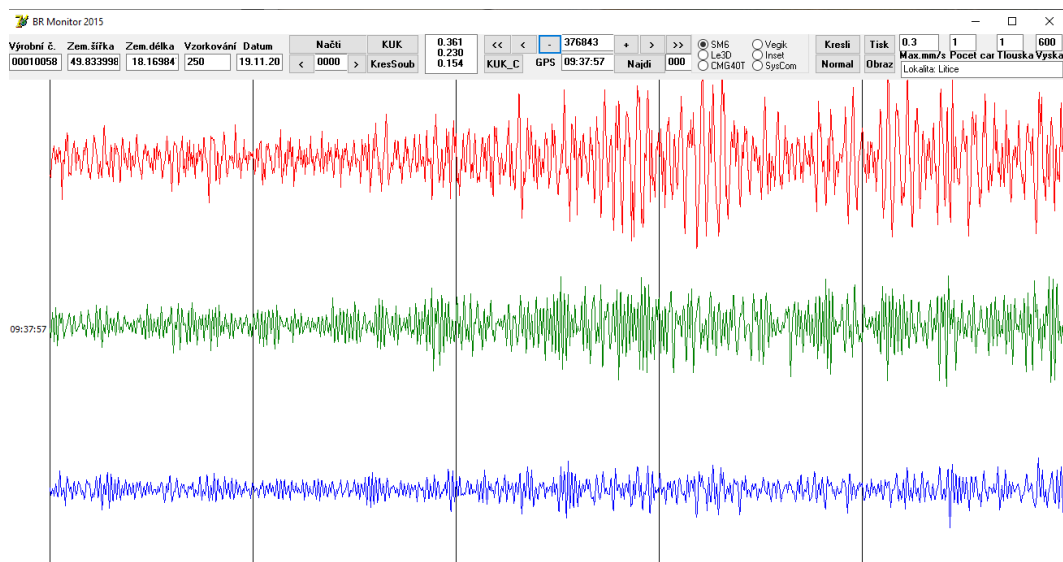
Pro správnost vyhodnocení naměřených dat je potřeba kvalitního a zkalibrovaného přístroje. Pro naše potřeby byl využit seizmický záznamník BRS-32. Jelikož přístroj BRS měří kontinuálně, jedná se o velký objem dat, který přístroj ukládá, a proto je důležitý i samotný software pro vyhodnocení jednotlivých amplitud měření. Naměřené hodnoty byly zpracovávány v programu BRmonitor (Obr. 41).



Obrázek 41: Přehledová stránka seismického záznamu v softwaru BRmonitor

Po vybrání a načtení záznamu v programu BRmonitor byly vykresleny amplitudy rychlosti kmitání. Senzor měří rychlost kmitání ve vertikálním směru (SHZ), horizontálním radiálním (SHN) a horizontálním transverziálním (SHE). Proto i výsledkem průjezdu soupravy jsou tyto

tři složky Z, N, E. Program zaznamenává během měření čas s přesností na sekundy, a tak je možno časy konfrontovat s námi zaznamenanými jednotlivými průjezdy souprav. Po určení přesného času průjezdu program vykreslí 5ti sekundový detailní záznam seizmických účinků. V tomto 5ti sekundovém záznamu software uvede největší dosaženou velikost amplitudy v tomto úseku (Obr. 42).



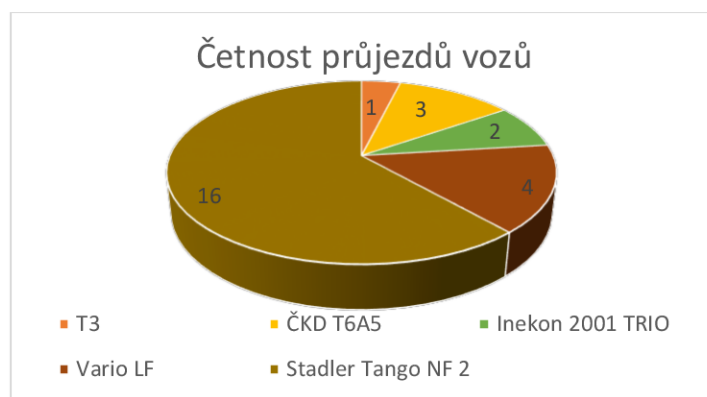
Obrázek 42: Detail průjezdu soupravy v programu BRmonitor

7. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

V této kapitole jsou představena vyhodnocená data jednotlivých měření. Nejprve byla vyhodnocena data četnosti vozů, které byly zaznamenány a změřeny. Poté byly vyhodnoceny jednotlivé směry průjezdů – ve směru přímém a přes výhybku.

7.1. Stanoviště U Vozovny

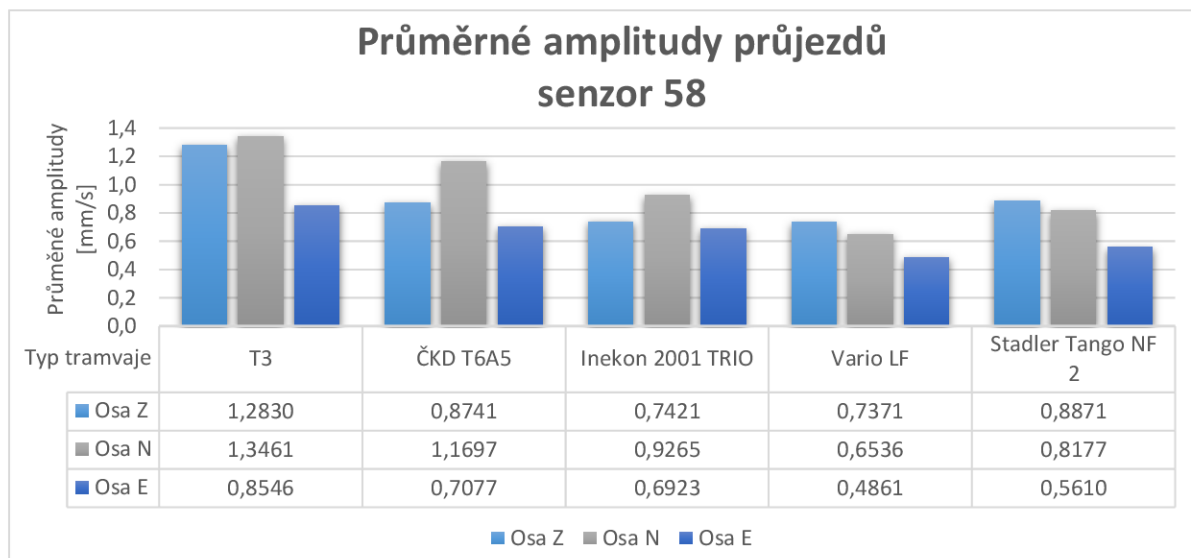
Měření na tomto stanovišti probíhalo dne 19. 11. 2020



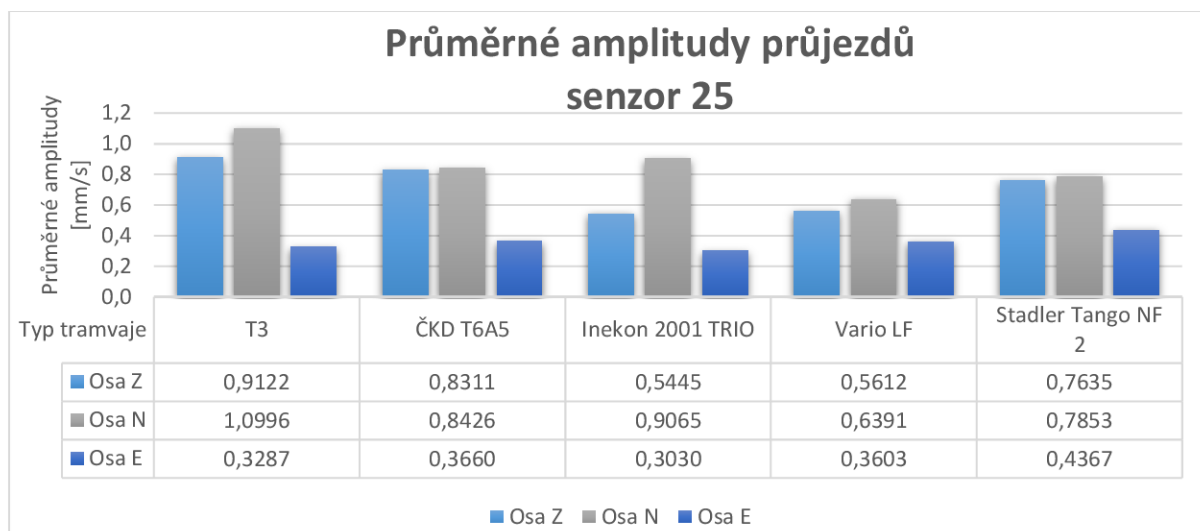
Graf 1: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou U Vozovny dne 19. 11. 2020

Koláčový graf 1 znázorňuje četnost a typ vozů, které projely danou lokalitou během měření. Největší četnost, 16 průjezdů, byla zaznamenána u typu Stadler Tango NF2.

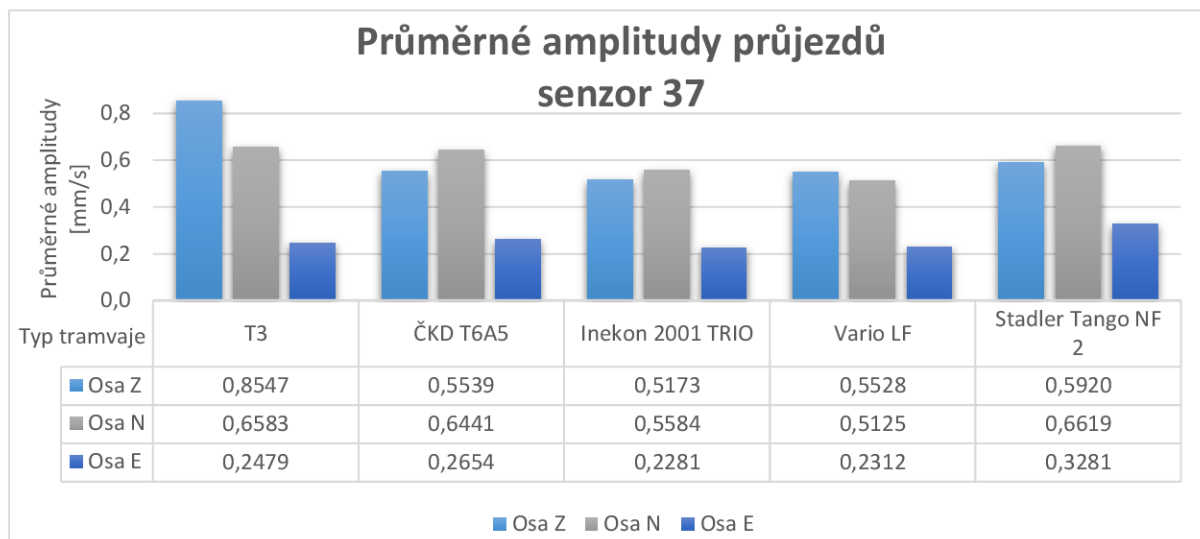
Na následujících grafech 2, 3, 4 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průměrných maximálních amplitud rychlosti kmitání s ohledem na jednotlivé typy tramvají. Největší hodnoty amplitud byly naměřeny na nejstarším typu vozu T3, který se v Ostravě pohybuje. Nejnižší hodnoty dosahoval vůz Vario LF. Nutno ovšem zmínit novou tramvaj Stadler Tango NF 2, která sice nedosahuje nejmenších hodnot, avšak se lokalitou pohybovala v průměru o 6 km/h rychleji, oproti ostatním typům vozů.



Graf 2: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58

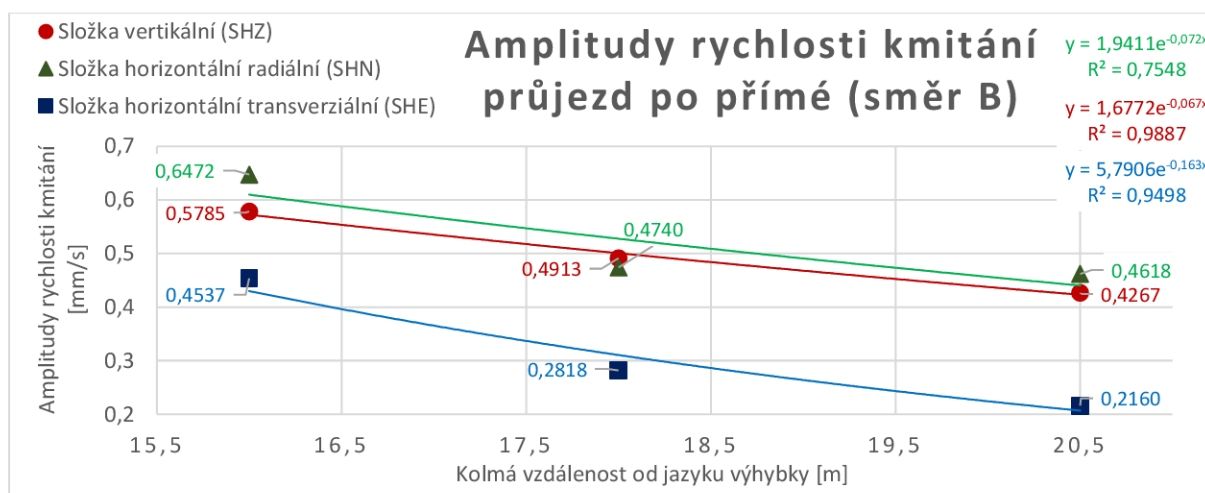


Graf 3: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25

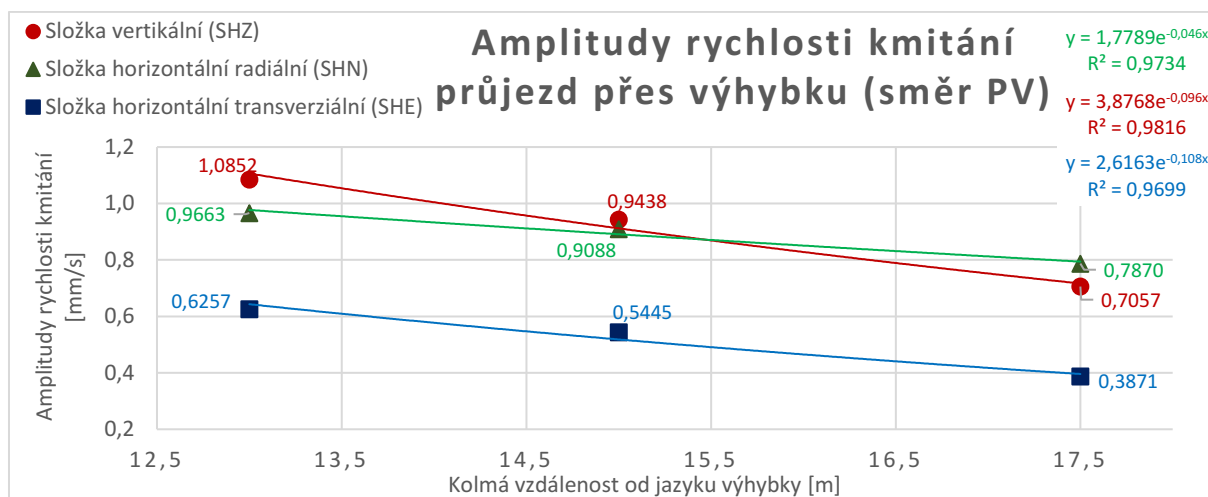


Graf 4: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 37

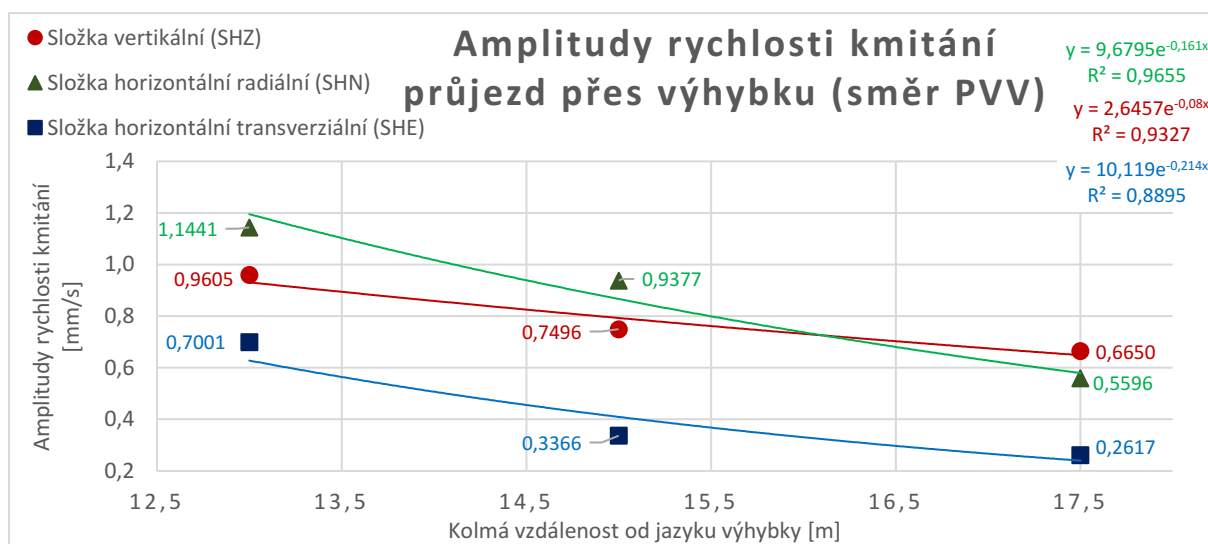
Na následujících grafech 5, 6, 7 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průběhu vibrací v horninovém prostředí od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti. Hodnoty ze senzorů jsou rozřazeny do směrů (B, PV, PVV), kudy tramvaj lokalitou projížděla. Složky rychlosti kmitání z jednotlivých směrů jsou zprůměrovány bez ohledu na typ vozu a následně jsou body zaneseny do grafů. Těmito body je proložená exponenciální spojnice trendů a zobrazení rovnice.



Graf 5: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr B



Graf 6: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr PV



Graf 7: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr PVV

Graf 5 ukazuje hodnoty amplitudy v této lokalitě při pojezdu tramvaje po přímé koleji. Jelikož se jedná o vzdálenější kolej, výsledky nemohou být konfrontovány s výsledky měření bližší koleje. Toto měření však bylo důležité pro nastínění útlumu horninového podloží v lokalitě.

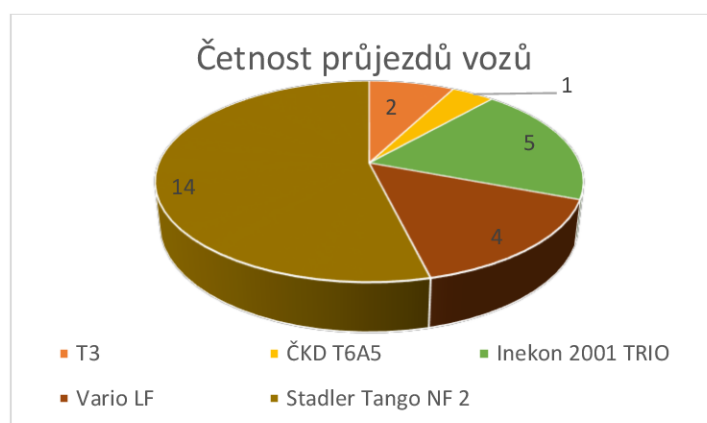
V grafech 6 a 7 jsou hodnoty měřené na bližší koleji. Označení směru PV je označení pro stav, kdy tramvaj jela přes výhybku po hlavní koleji, tudíž nenajížděla na jazyk výhybky. Směr PVV je označení stavu, kdy tramvaj najížděla přímo na jazyk výhybky. Porovnáním těchto dvou směrů se přišlo na zjištění, že při přejezdu tramvaje přes hlavní kolej výhybky jsou amplitudy nepatrně větší než při přejíždění tramvaje přímo přes kolej.

Při bližší analýze naměřených rychlostí bylo zjištěno, že při průjezdu tramvaje po hlavní koleji měly vozy v průměru o 4 km/h větší rychlost než při průjezdu přes výhybku. Proto jsou výsledky měření amplitudy při projíždění tramvaje po hlavní koleji nepatrně větší. Do tohoto srovnání už nevztupuje přípovrchová geologie, protože se braly hodnoty amplitud ze stejného senzoru. Proměnné hodnoty, které mohly ovlivnit měření, jsou stav tramvajového vozu a již dříve zmiňovaná rychlost. Z tohoto měření nelze potvrdit ani vyvrátit fakt, že při průjezdu tramvaje výhybkou jsou vyvolané větší dynamické rázy.

7.2. Stanoviště U Vozovny

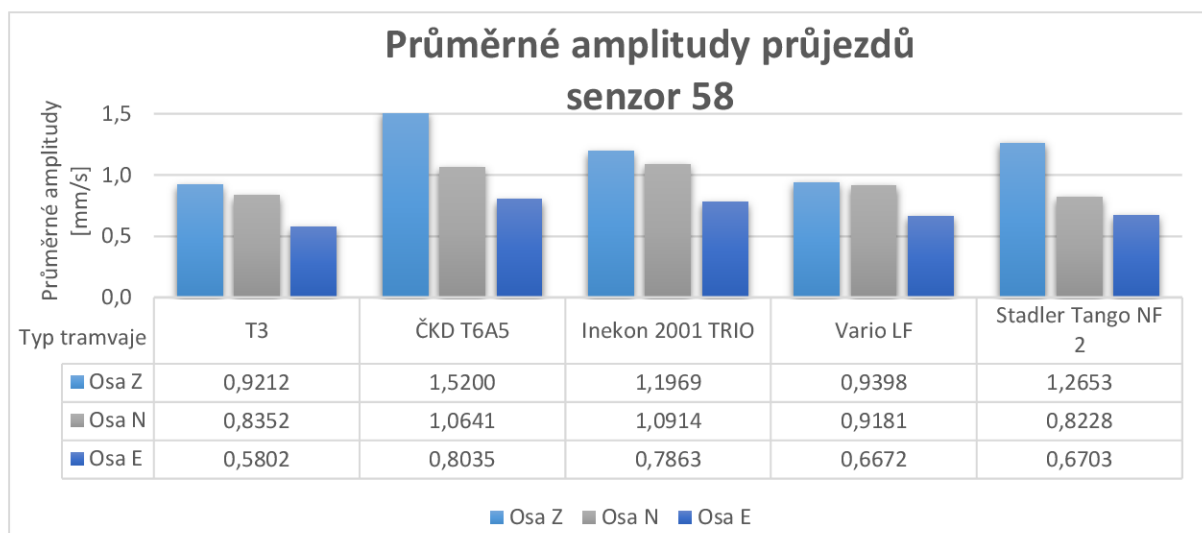
Měření na tomto stanovišti probíhalo dne 26. 11. 2020.

Na koláčovém grafu 8 níže je znázorněna četnost a typ vozů, které projely danou lokalitou během měření. Největší četnost, 14 průjezdů, byla zaznamenána u typu Stadler Tango NF2.

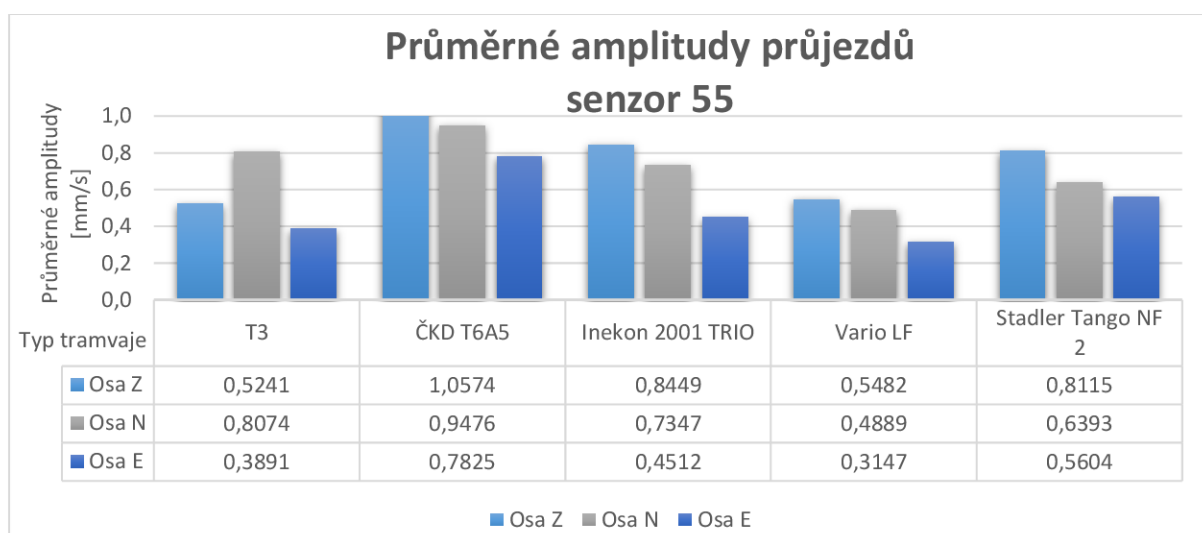


Graf 8: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou U Vozovny 26. 11. 2020

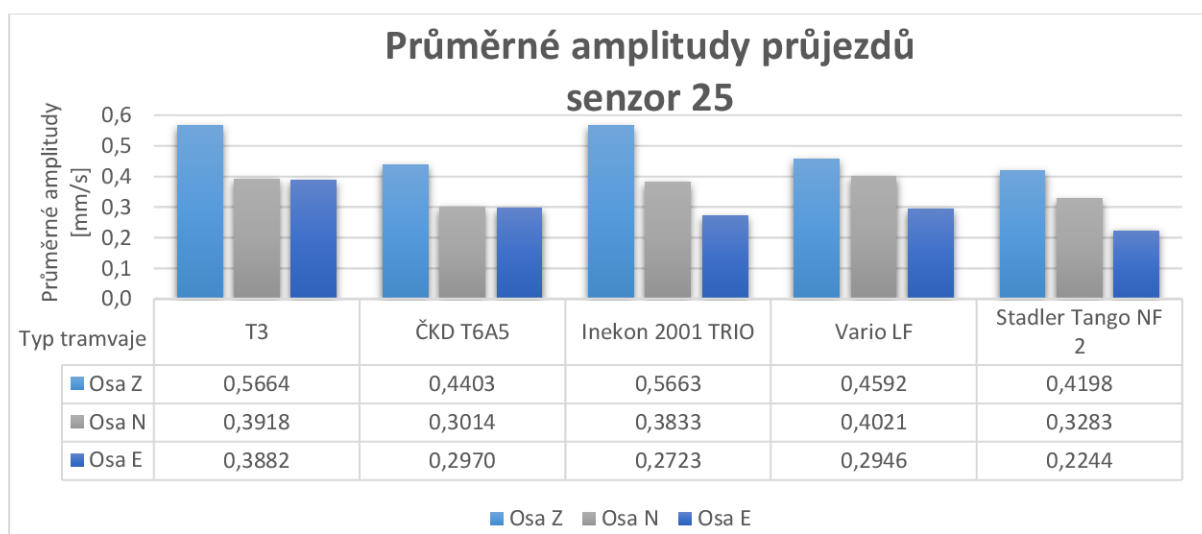
Na následujících grafech 9, 10, 11 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průměrných maximálních amplitud rychlosti kmitání s ohledem na jednotlivé typy tramvají. Největší hodnoty amplitud, byly naměřeny na ČKD T6A5. Nejnížší hodnoty dosahoval vůz Vario LF. Nutno však zmínit novou tramvaj Stadler Tango NF 2, která sice nedosahuje nejmenších hodnot amplitudy, avšak se lokalitou pohybovala v průměru o 8 km/h rychleji, oproti ostatním typům vozů.



Graf 9: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58

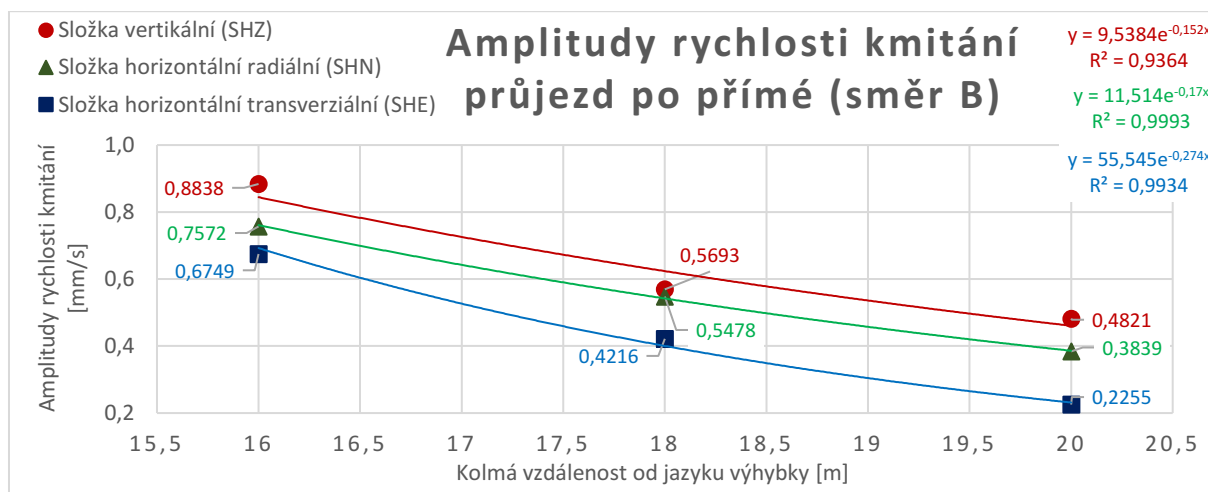


Graf 10: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 55

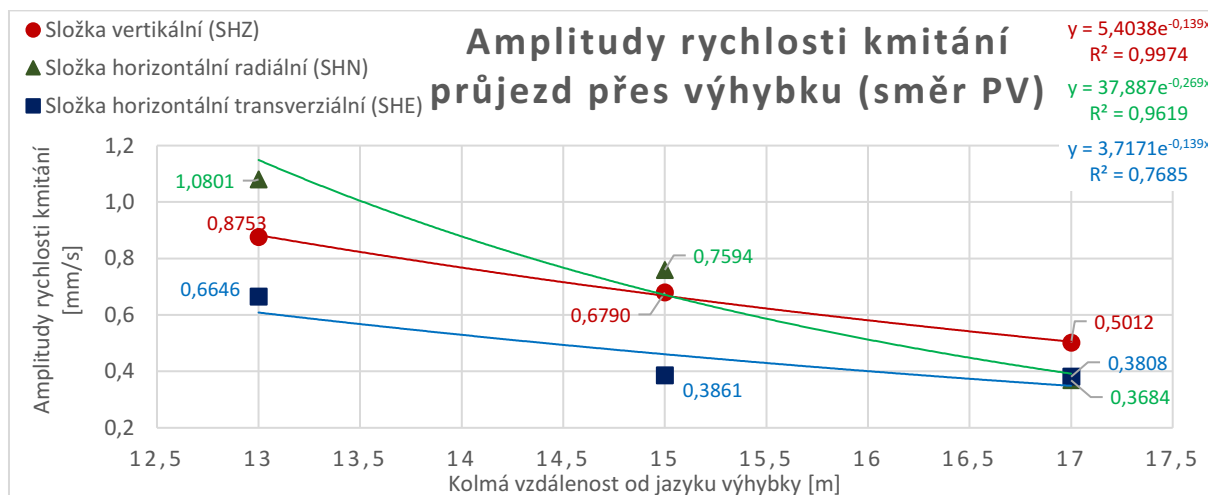


Graf 11: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25

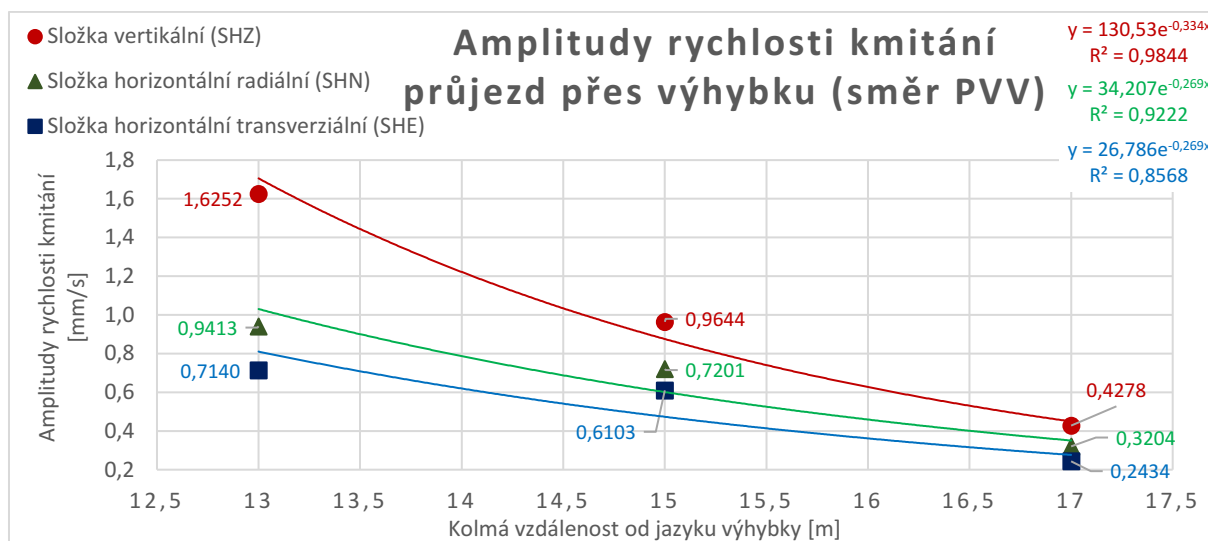
Na následujících grafech 12, 13, 14 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průběhu vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti. Hodnoty ze senzorů jsou rozřazeny do směrů (B, PV, PVV), kudy tramvaj lokalitou projížděla. Složky rychlosti kmitání z jednotlivých směrů jsou zprůměrovány, bez ohledu na typ vozu a následně jsou body zaneseny do grafů. Těmito body je proložena exponenciální spojnice trendů a zobrazení rovnice.



Graf 12: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr B



Graf 13: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulzu v závislosti na vzdálenosti, směr PV



Graf 14: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr PVV

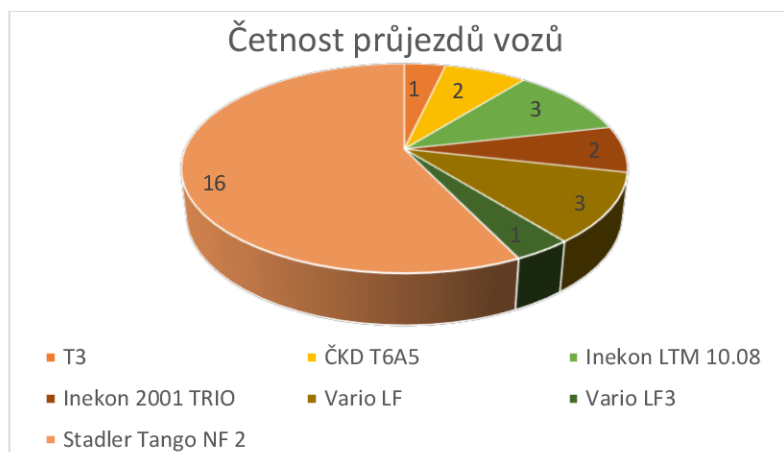
V grafu 12 jsou znázorněny hodnoty měřené v přímém směru. V grafech 13 a 14 jsou zaznamenány hodnoty ze stanoviště U Vozovny, ale z jiného dne. Graf 12 znázorňuje útlum a míru ostřesů na daném stanovišti v přímé.

Vytýčila se kolmice ke kolejišti. Opět směr PV je situace, kdy tramvaj jela po hlavní koleji. Směr PVV je situace, ve které tramvaj jela přes výhybku. S porovnáním výsledků z předešlého měření jsou zde patrné jiné hodnoty amplitudy. Při porovnání pouze hodnoty z tohoto měření je patrný fakt, že při přejezdu tramvaje přes výhybku jsou vozem vyvozené větší vibrace než při přejezdu tramvaje po hlavní koleji. Je nutno zdůraznit fakt, že rozdíl v rychlosti během tohoto měření nebyl takřka žádný. Průměrná maximální rychlost se lišila o 1 km/h, kdy pomalejší vozy jely vždy přímo přes výhybku.

7.3. Stanoviště U Alberta

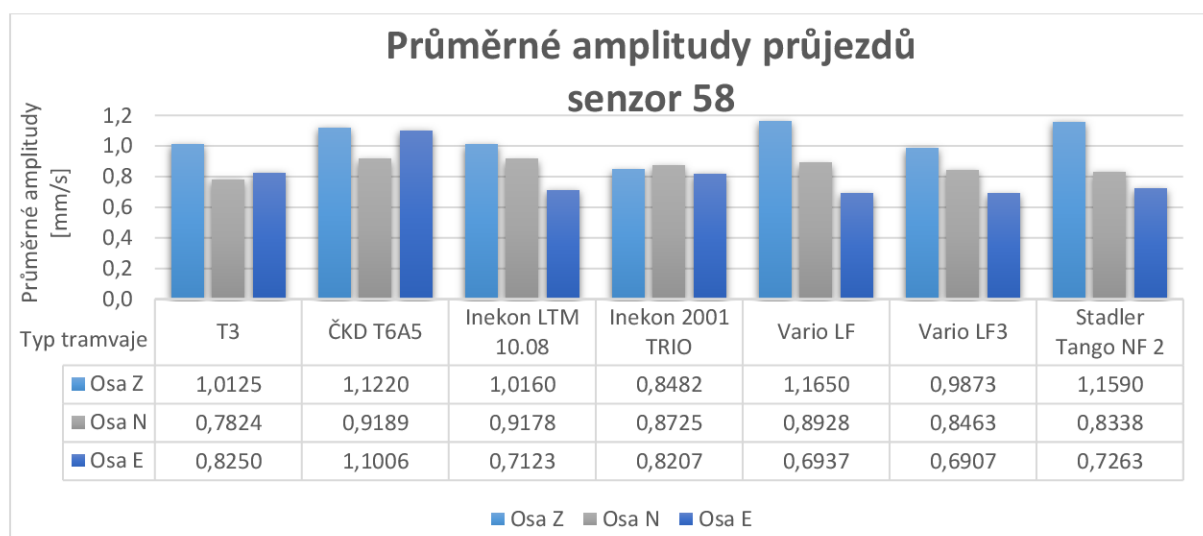
Měření na tomto stanovišti probíhalo dne 19. 11. 2020

Na koláčovém grafu 15 níže je uvedena četnost a typ vozů, které projely danou lokalitou během měření. V této lokalitě se objevila největší rozmanitost typů vozů. Největší četnost nadpoloviční většiny vozů, 16 průjezdů, byla zaznamenána u typu Stadler Tango NF2.

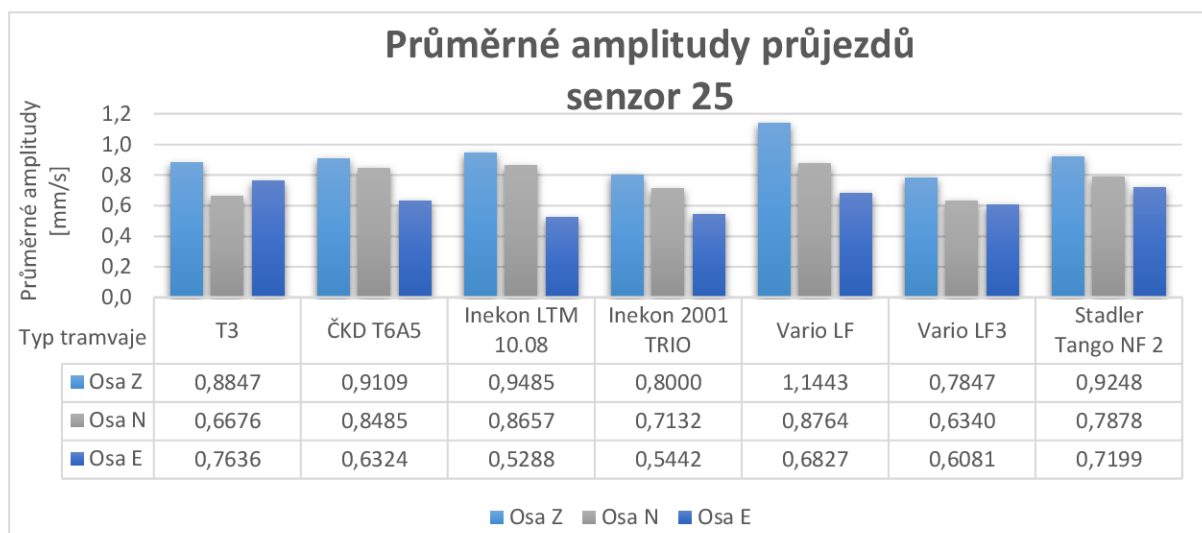


Graf 15: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou U Alberta 19. 11. 2020

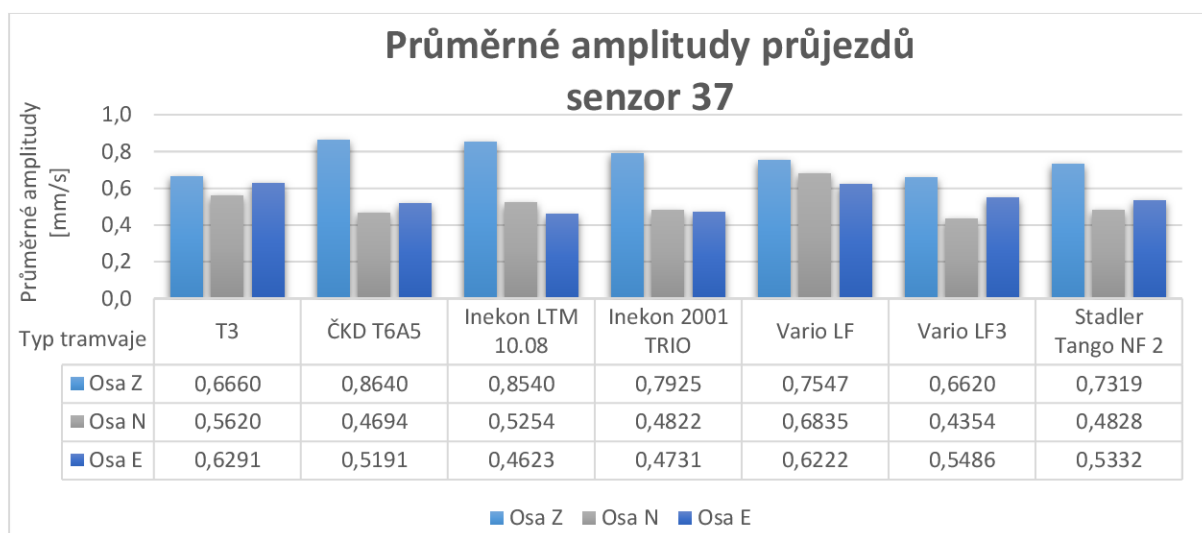
Na následujících grafech 16, 17, 18 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průměrných maximálních amplitud rychlosti kmitání s ohledem na jednotlivé typy tramvají. Zde vozy dosahovaly podobných amplitud. Opět tramvaj Stadler Tango NF2 v této lokalitě dosahovala vyšších průměrných průjezdových rychlostí.



Graf 16: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58

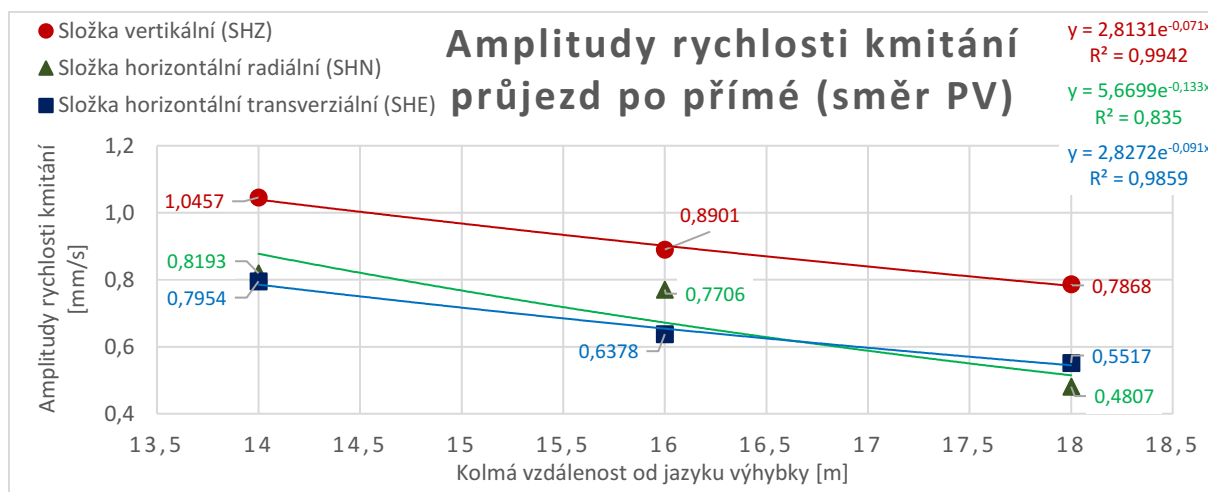


Graf 17: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25

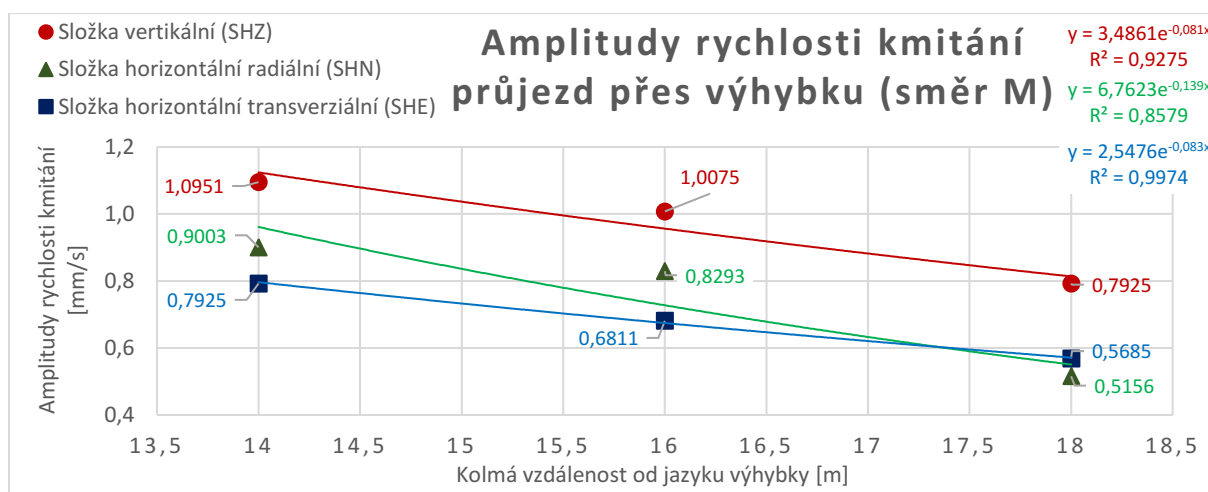


Graf 18: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 37

Na následujících grafech 19, 20, 21, 22 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průběhu vibrací v horninovém prostředí od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti. Hodnoty ze senzorů jsou rozřazeny do směrů (PV, M, T, MV), kudy tramvaj lokalitou projížděla. Složky rychlosti kmitání z jednotlivých směrů jsou zprůměrovány bez ohledu na typ vozu a následně jsou body zaneseny do grafů. Těmito body je proložena exponenciální spojnice trendů a zobrazení rovnice.

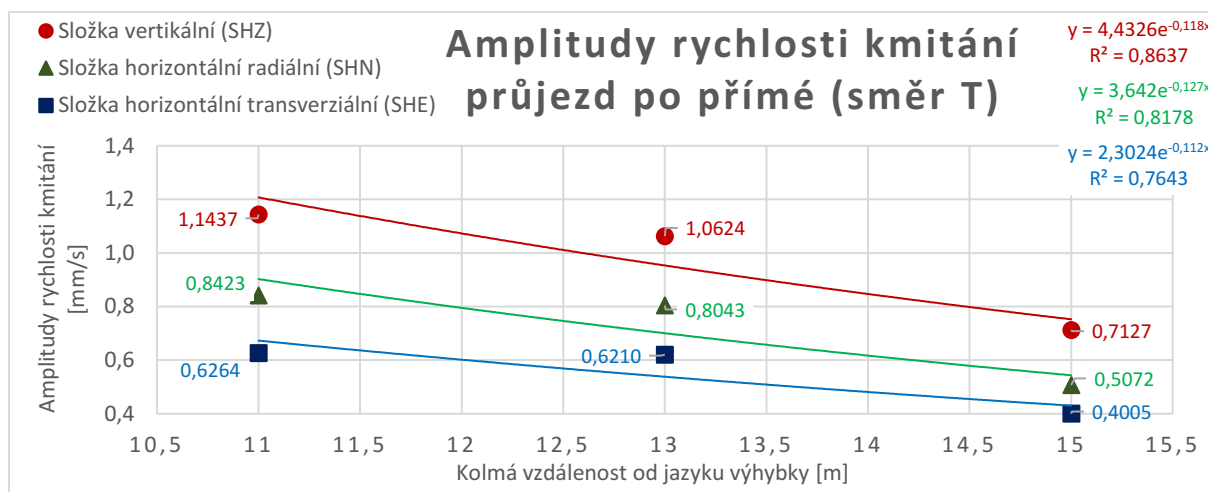


Graf 19: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr PV

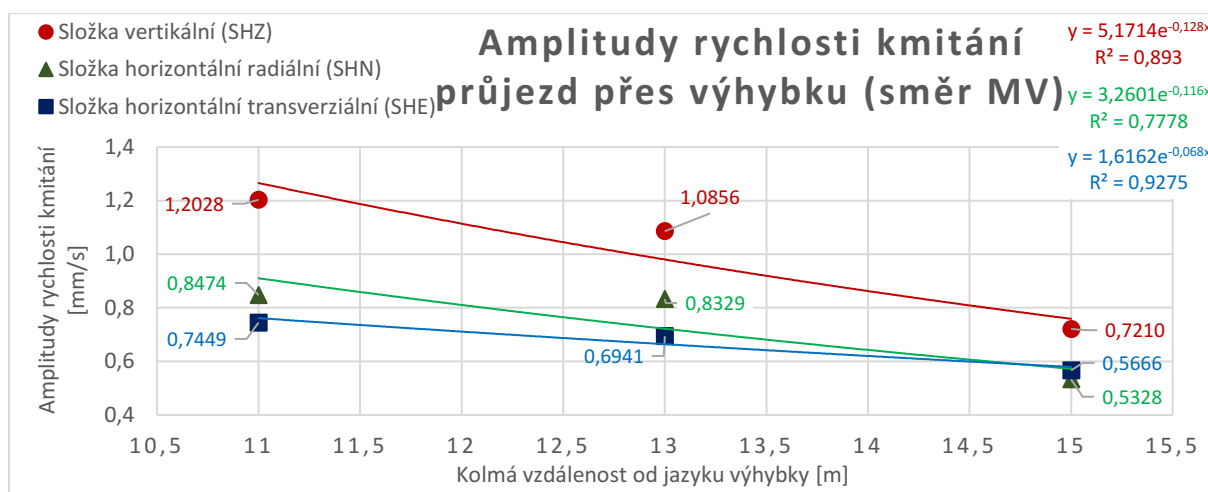


Graf 20: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr M

V grafech 19 a 20 jsou uvedeny hodnoty z měření v dané lokalitě na vzdálenější koleji. Jednak je nám blíž nastíněn útlum podloží z rozdílných maximálních hodnot a následném klesání se vzdáleností od kolejiště. Ale můžeme zde porovnat i rozdíl mezi pojezdem vozu po hlavní koleji a přes výhybku. Rozdíly mezi stavem, kdy tramvaj jela po hlavní koleji směr PV a směrem, kdy tramvaj jela přímo přes výhybku směr M, jsou nepatrné. Roli zde může hrát i vzdálenost a fakt, že v místě, kde byly situovány senzory, se v podloží nachází jednolitá vrstva hlíny. Při pojezdu soupravy přes kolej jsou hodnoty větší.



Graf 21: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr T



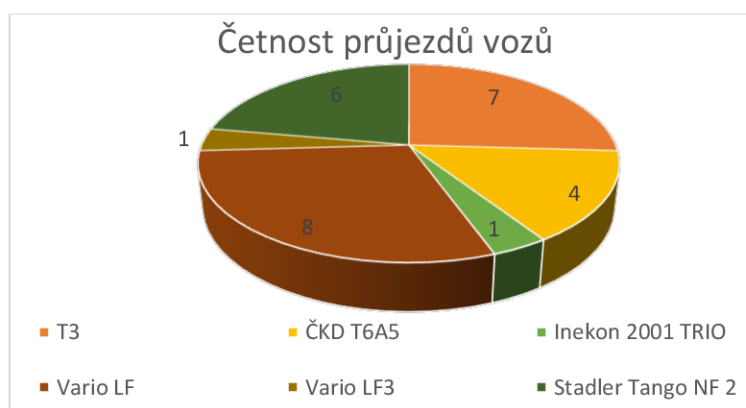
Graf 22: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr MV

V grafech 21 a 22 jsou hodnoty z bližší koleje. Směr T je situace, kdy tramvaj jede přes výhybku po hlavní koleji. Situace, kdy tramvaj jede přímo přes výhybku, je označena jako směr MV. Při porovnání těchto výsledků je znát rozdíl při hodnotách během průjezdů přes výhybku po lavní koleji a při přejezdu přímo přes výhybku. Větší naměřené hodnoty byly při průjezdu vozu po výhybce. Tudíž z tohoto měření lze usoudit, že během přejezdu tramvaje přes výhybku je míra vibrací větší. I zde do výsledné hodnoty vstupují faktory, které ovlivňují maximální hodnoty, jsou to technický stav vozů, stav drážního tělesa, rychlost během průjezdů a skladba horniny v měřené lokalitě.

7.4. Stanoviště Hulvácká

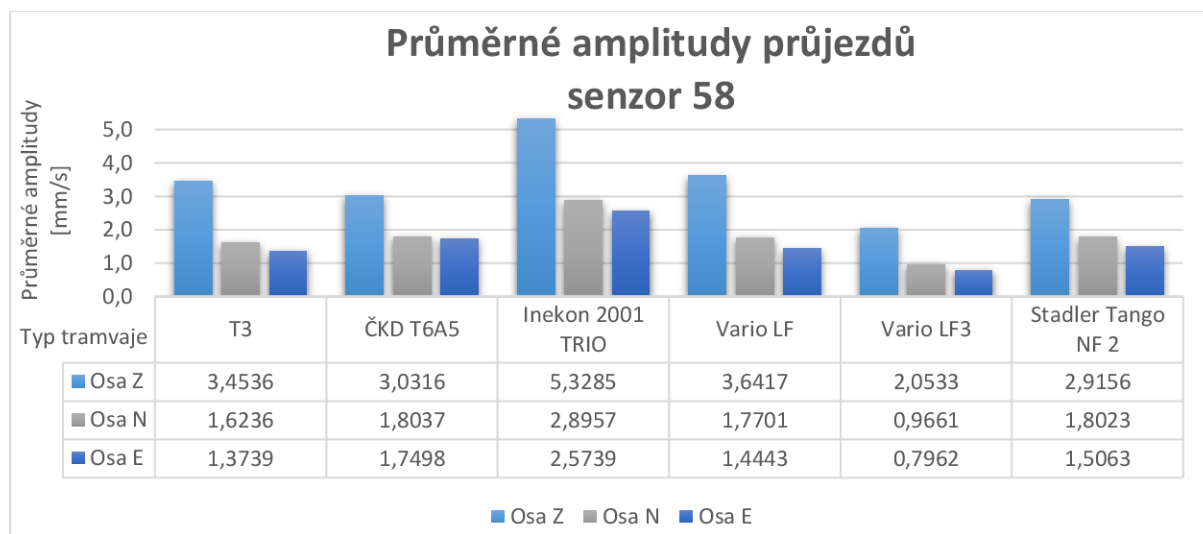
Měření na tomto stanovišti probíhalo dne 19. 11. 2020.

Na koláčovém grafu 23 je znázorněna četnost a typ vozů, které projely danou lokalitou během měření. Největší četnost vozů, 8 průjezdů, byla zaznamenána u typu Vario LF. Nejstarší vůz ve vozovém parku města Ostravy, vůz T3 se v této lokalitě objevil 7 krát. U vozu Stadler Tango NF2 bylo zaznamenáno 6 průjezdů.

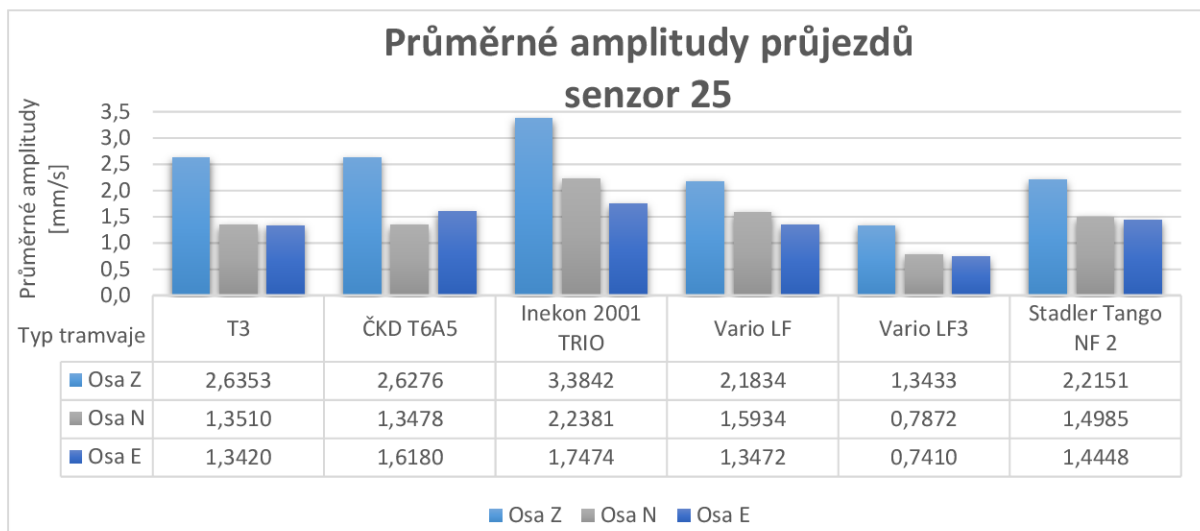


Graf 23: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou Hulvácká 19. 11. 2020

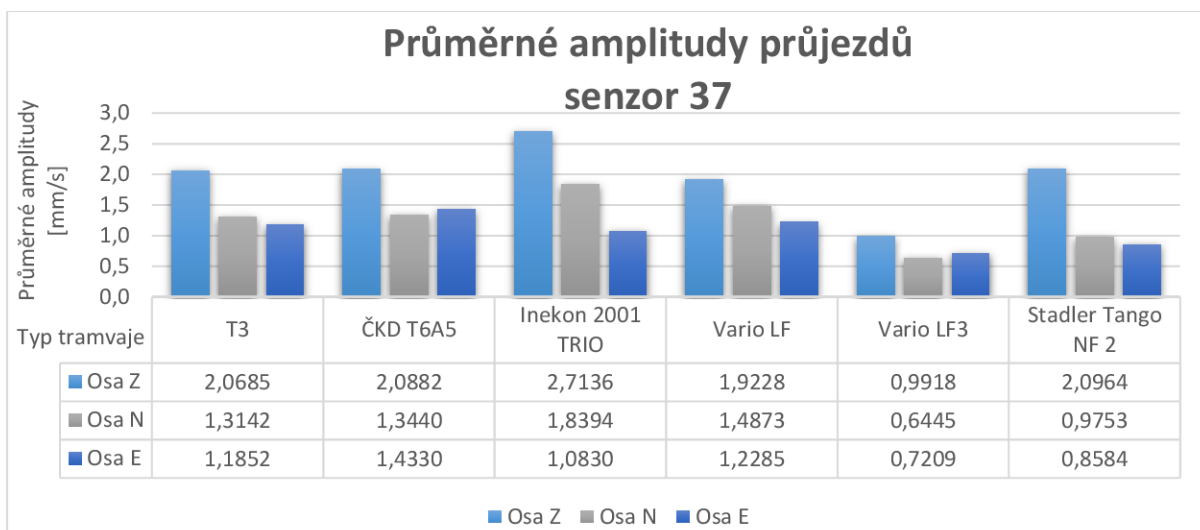
Na následujících grafech 24, 25, 26 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průměrných maximálních amplitud rychlosti kmitání s ohledem na jednotlivé typy tramvají. Zde vozy T3, ČKD T6A5, Vario LF3, Stadler Tango NF2 dosahovaly podobných amplitud. Vyšší hodnoty byly zaznamenány u vozů Inekon 2001 TRIO a Vario LF. Opět tramvaj Stadler Tango NF2, v této lokalitě dosahovala vyšších průměrných průjezdových rychlostí.



Graf 24: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58

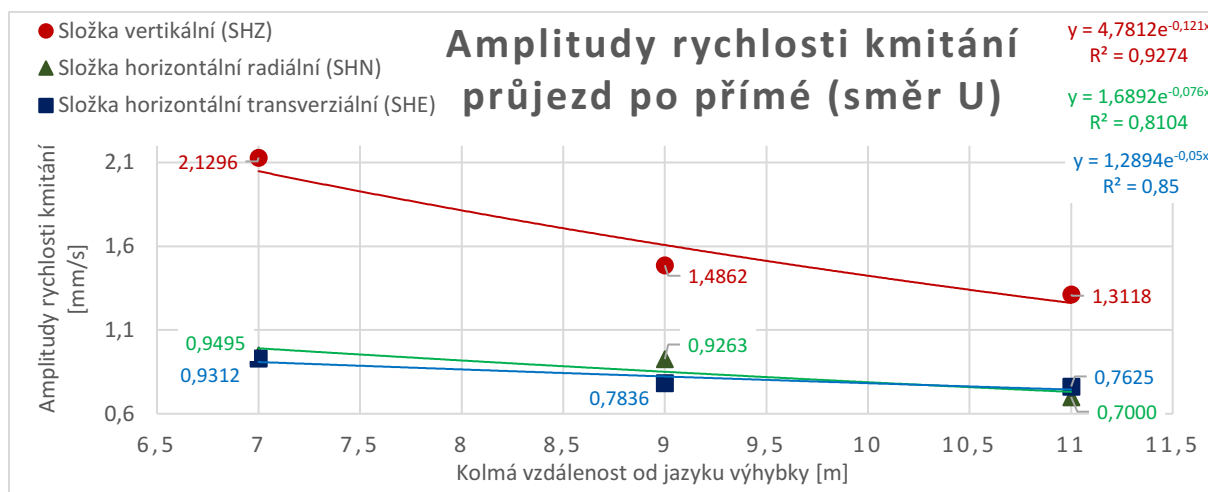


Graf 25: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25

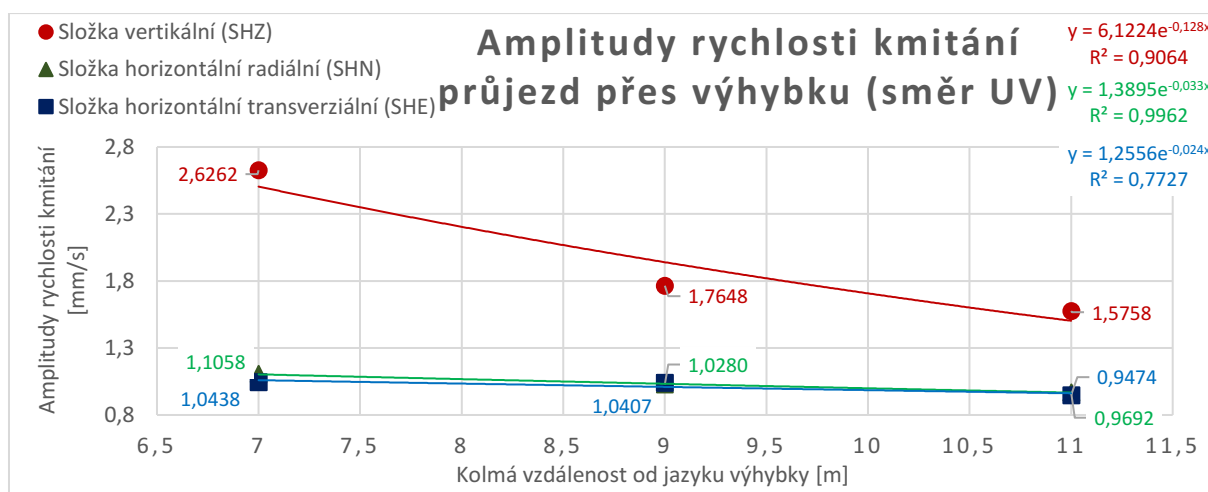


Graf 26: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 37

Na následujících grafech 27, 28, 29, 30 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průběhu vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti. Hodnoty ze senzorů jsou rozřazeny do směrů (U, UV, F, FV), kudy tramvaj lokalitou projížděla. Složky rychlosti kmitání z jednotlivých směrů jsou zprůměrovány, bez ohledu na typ vozu a následně jsou body vyneseny do grafů. Těmito body je proložena exponenciální spojnice trendů a zobrazení rovnice.

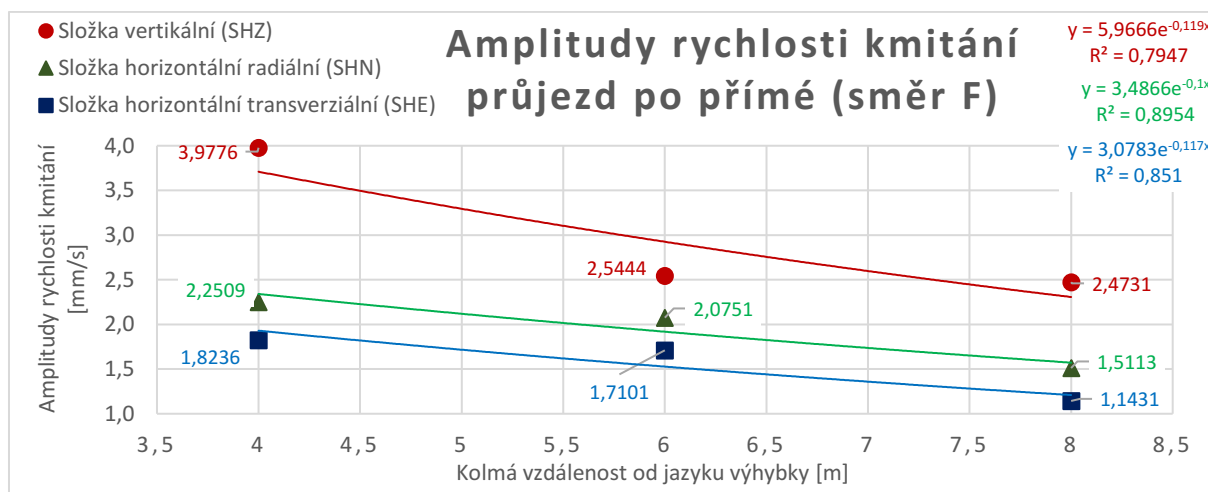


Graf 27: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr U

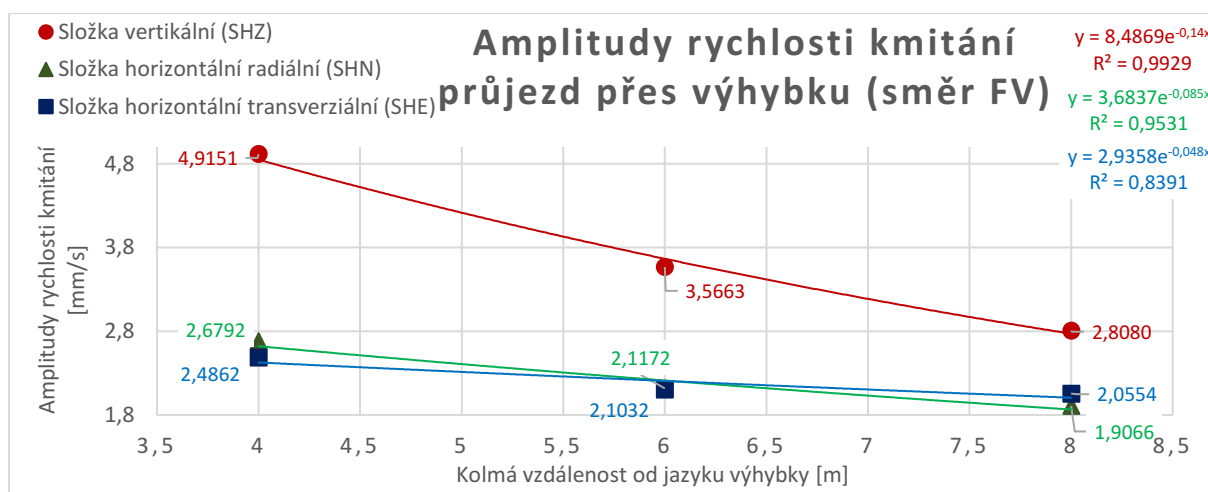


Graf 28: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr UV

Graf 27 a 28 udává hodnoty z lokality Hulvácká, ze vzdálenější koleje. Jelikož se zde měřilo v přímé blízkosti, jsou zde rozdíly v průjezdech po hlavní koleji a přes výhybku zcela markantní. Směr U udává stav, kdy tramvaj projížděla kolem senzoru po hlavní koleji. Směr UV, udává stav, kdy tramvaj jela přes výhybku. Právě díky blízkosti měření jsou rozdíly v hodnotách zcela viditelné. Zde se potvrdil názor, že tramvaj, která přejíždí přes výhybku, dosahuje větších hodnot amplitudy.



Graf 29: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr F

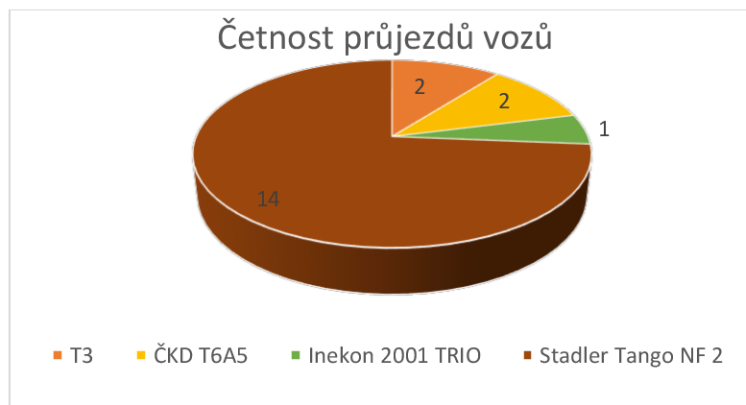


Graf 30: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr FV

V Grafech 29 a 30 jsou zaznamenány hodnoty ze stanovistě Hulvácká z bližší koleje. Směr F udává směr, během kterého tramvaj přejíždí kolem senzoru po hlavní koleji. Směr FV udává směr, kdy tramvaj jede přímo přes výhybku. Zde byly rychlosti podobné, žádné markantní rozdíly nebyly zaznamenány. Ovšem rozdíly mezi stavy, kdy tramvaj jela po hlavní koleji a přes výhybku jsou znatelné. I zde se potvrdila teorie podložena měřením v dané lokalitě, že při přejíždění tramvaje jazyku výhybky se vyvolají větší vibrace.

7.5. Stanoviště Vřesinská výhybka

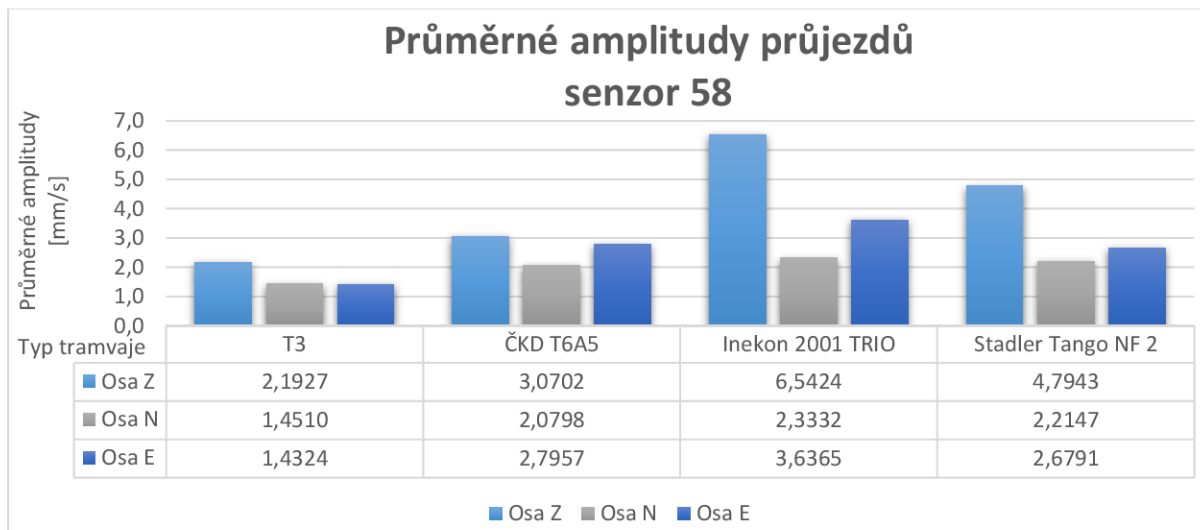
Na koláčovém grafu 31 níže je znázorněna četnost a typ vozů, které projely danou lokalitou během měření. V této lokalitě se objevila největší rozmanitost typů vozů. Největší četnost nadpoloviční většiny vozů, 14 průjezdů, byla zaznamenána u typu Stadler Tango NF2.



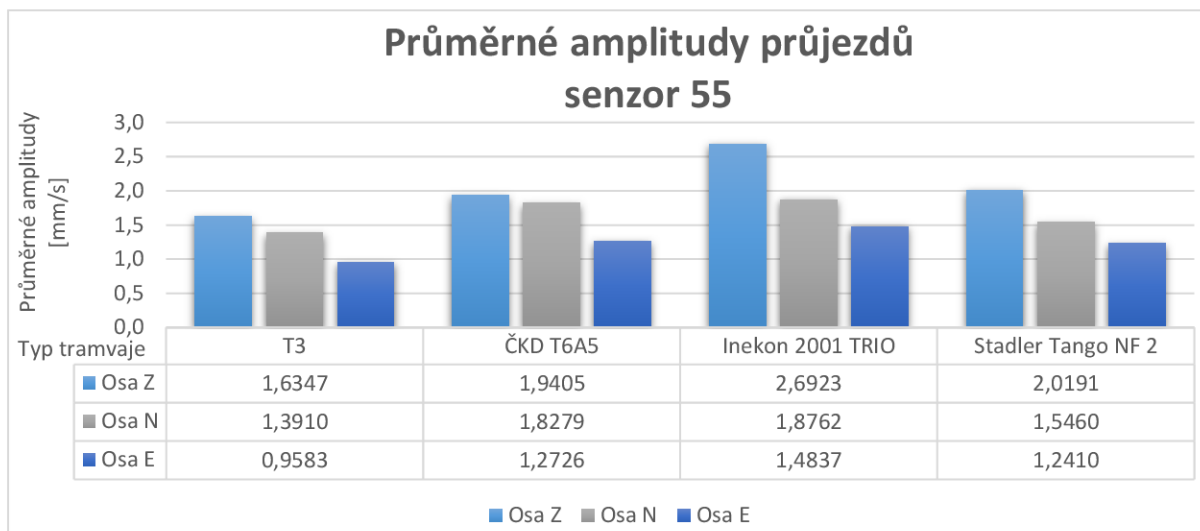
Graf 31: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou Vřesinská výhybka

26. 11. 2020

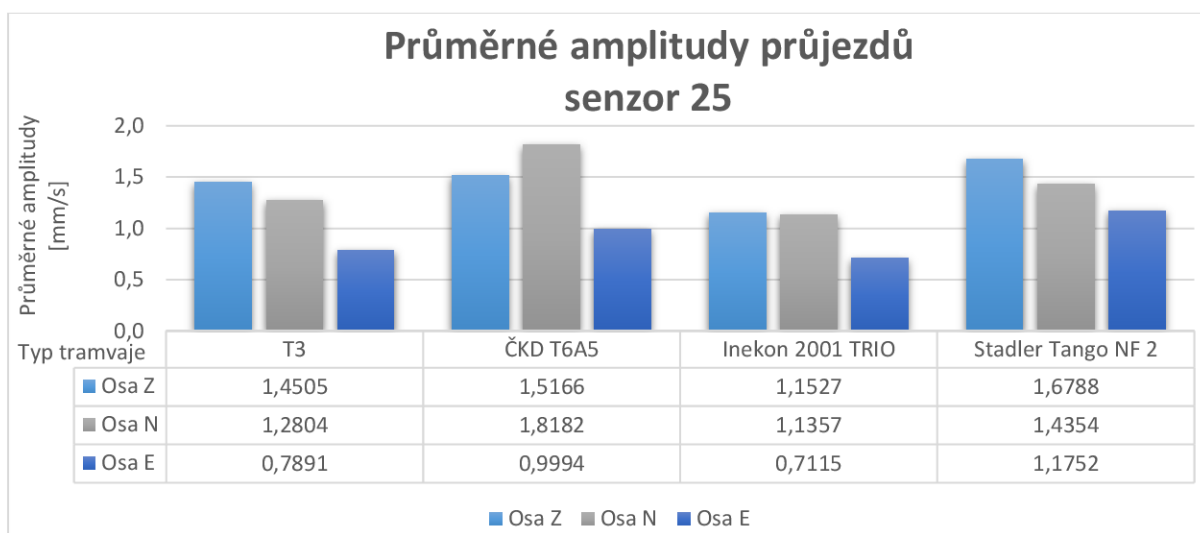
Na následujících grafech 32, 33, 34 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průměrných maximálních amplitud rychlosti kmitání s ohledem na jednotlivé typy tramvají. Zde vozy dosahovaly asi nejvíce rozdílných hodnot amplitud.



Graf 32: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58

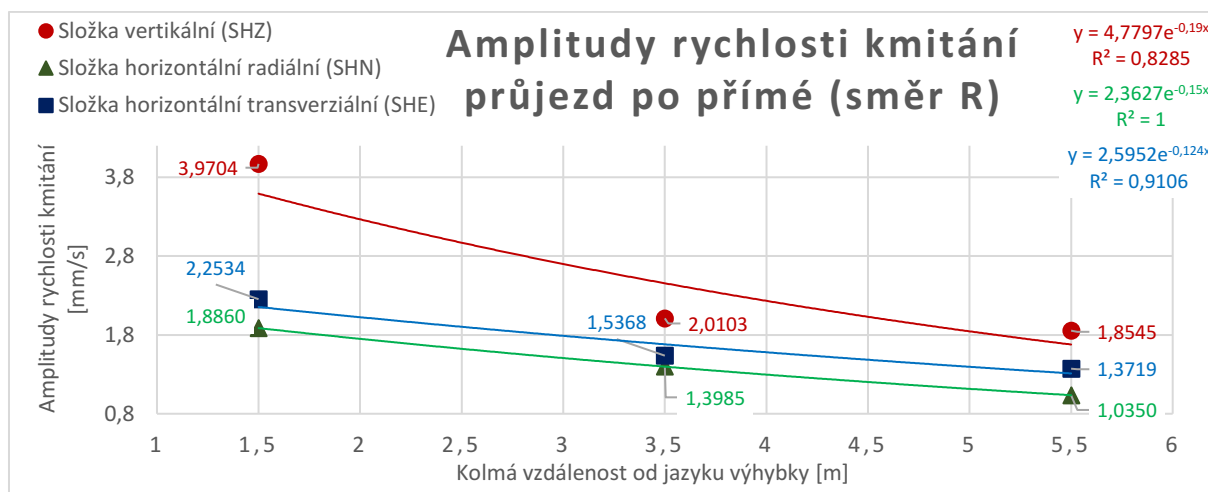


Graf 33: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 55

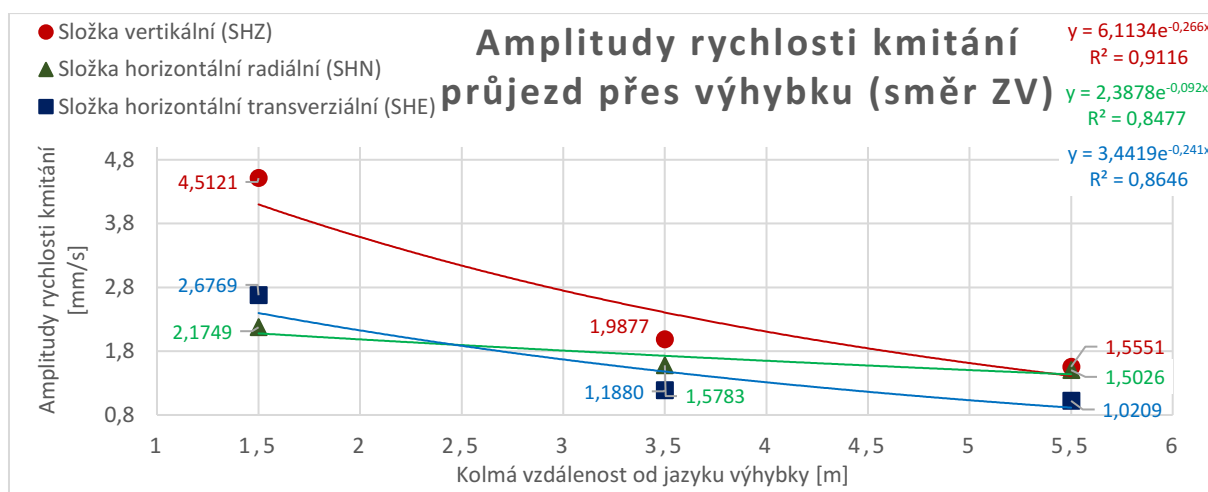


Graf 34: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25

Na následujících grafech 35, 36 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průběhu vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti. Hodnoty ze senzorů jsou rozřazeny do směrů (R, ZV), kudy tramvaj lokalitou projížděla. Složky rychlosti kmitání z jednotlivých směrů jsou zprůměrovány bez ohledu na typ vozu a následně jsou body vynešeny do grafů. Těmito body je proložena exponenciální spojnice trendů a zobrazení rovnice.



Graf 35: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr R

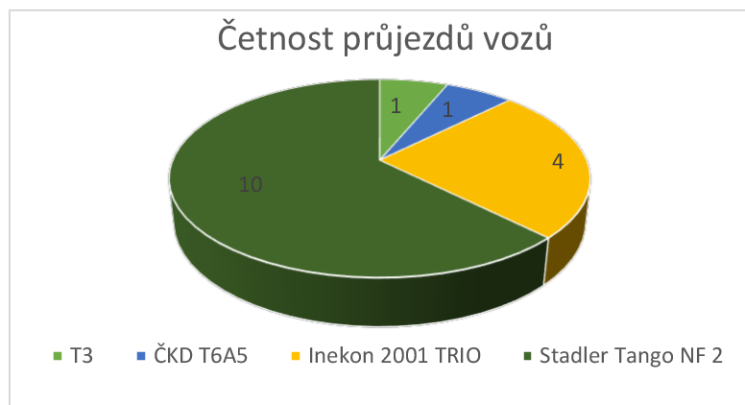


Graf 36: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr ZV

7.6. Stanoviště Vřesinská přímá

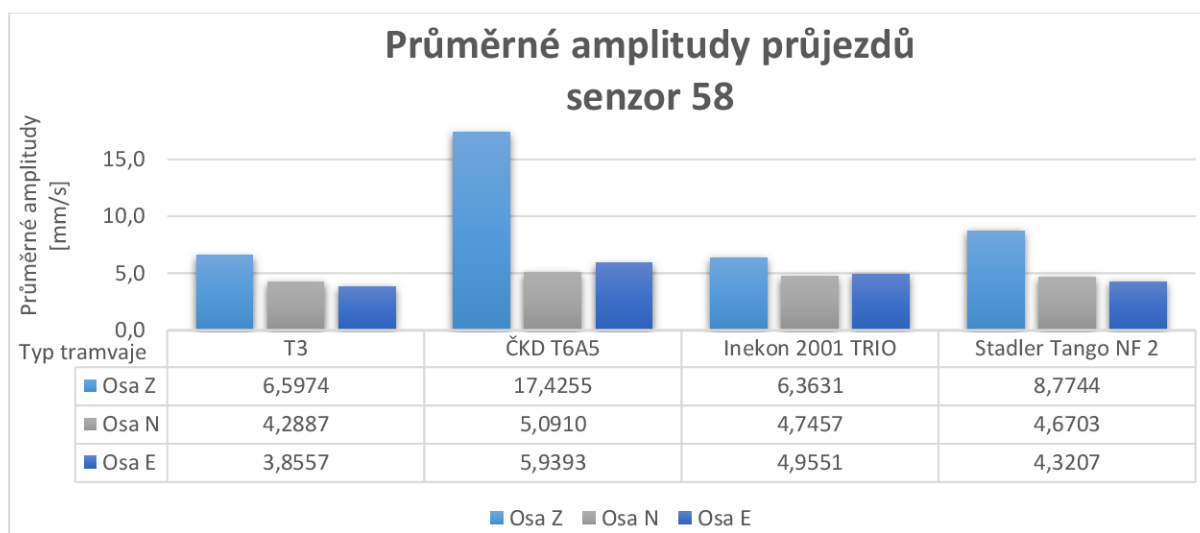
Měření na tomto stanovišti probíhalo dne 26. 11. 2020.

Na koláčovém grafu 37 níže je znázorněna četnost a typ vozů, které projely danou lokalitou během měření. Největší četnost nadpoloviční většiny vozů, 10 průjezdů, byla zaznamenána u typu Stadler Tango NF2.

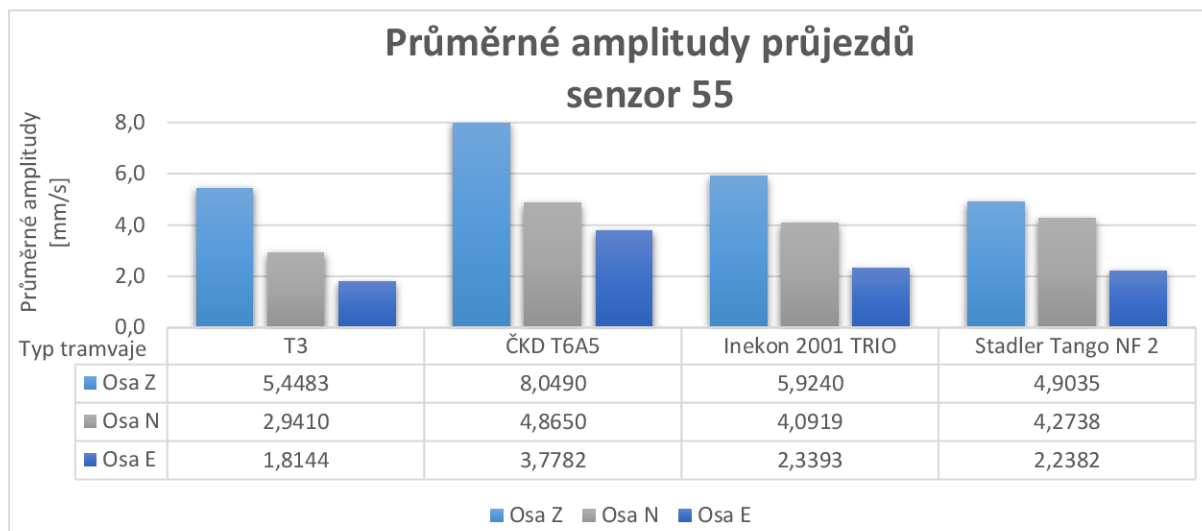


Graf 37: Počet a typy vozů, které projely během měření lokalitou Vřesinská přímá 26. 11. 2020

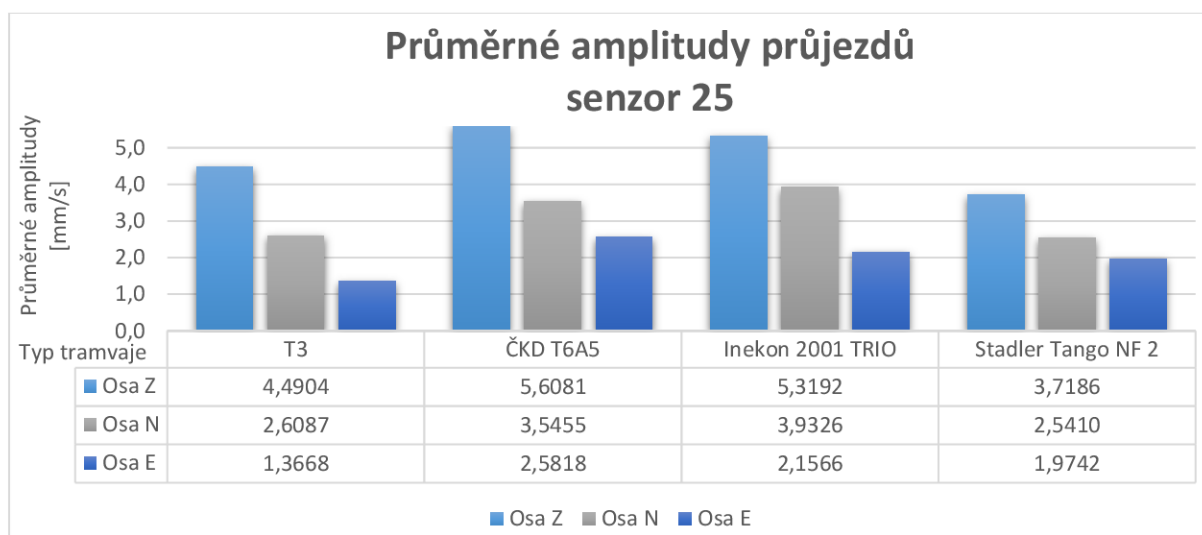
Na následujících grafech 38, 39, 40 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průměrných maximálních amplitud rychlosti kmitání s ohledem na jednotlivé typy tramvají. Největších hodnot amplitudy zde dosahovaly vozy ČKD T6A5.



Graf 38: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 58

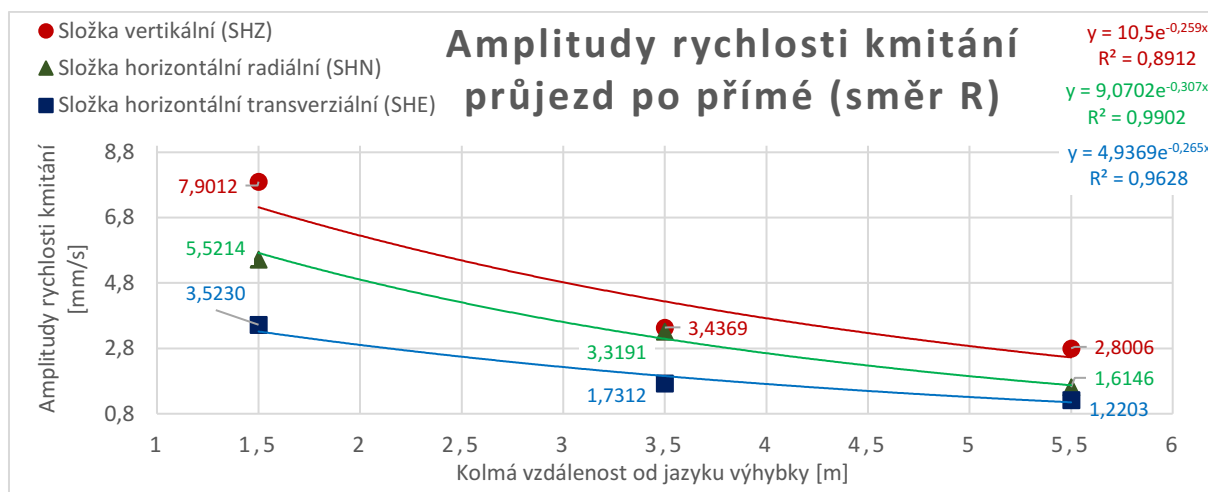


Graf 39: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 55

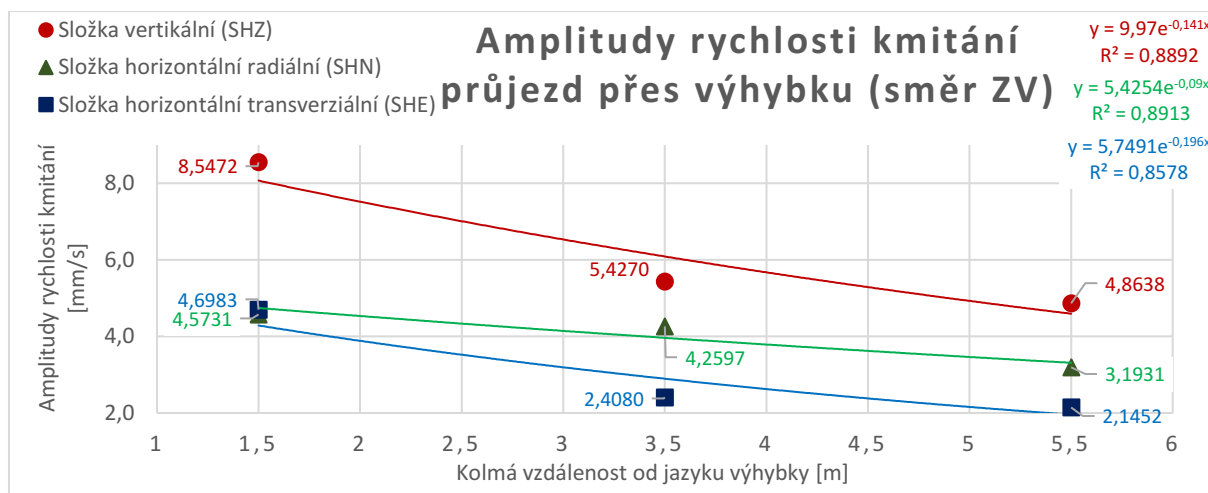


Graf 40: Průměrné maximální amplitudy průjezdů souprav, senzor 25

Na následujících grafech 41, 42 jsou shrnuty výsledky měření v podobě průběhu vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti. Hodnoty ze senzorů jsou rozřazeny do směrů (R, ZV), kudy tramvaj lokalitou projížděla. Složky rychlosti kmitání z jednotlivých směrů jsou zprůměrovány, bez ohledu na typ vozu a následně jsou body zaneseny do grafů. Těmito body je proložena exponenciální spojnice trendů a zobrazení rovnice.



Graf 41: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr R



Graf 42: Průběh vibrací v horninovém prostředí, od zdroje seismického impulsu v závislosti na vzdálenosti, směr ZV

V grafech 35, 36, 41, 42 jsou uvedeny hodnoty ze senzorů, které byly během měření situovány nejbližší kolejišti. Směr R určuje stav, během kterého tramvaje projížděly kolem senzorů po přímé koleji. Směr ZV označuje stav, kdy tramvaj jede přímo přes výhybku. Opět mezi těmito stavy je markantní rozdíl v maximálních hodnotách. Během průjezdu po výhybce byly naměřeny větší hodnoty než při přejezdu po koleji hlavní.

8. DISKUSE NAMĚŘENÝCH HODNOT

V tabulkách 11–18 jsou porovnávány jednotlivé typy tramvají. Ve dvou bakalářských pracích, od pana Matajsze (Vliv horniového prostředí na útlum rychlosti kmitání od dynamických účinků tramvajové dopravy, 2014) a pana Řeháka (Seizmická odezva tramvajové dopravy v zastavěné oblasti, 2015) je řešena obdobná problematika. Matajsz a Řehák však neprováděli měření v přímé. Z jejich prací byly převzaty hodnoty, které naměřili a ty jsou srovnávány s hodnotami, které byly naměřeny v okolí výhybky. Jelikož Matajsz a Řehák neměli senzor položený ve stejné vzdálenosti od kolejiště jako byl zde v bakalářské práci, hodnoty amplitudy se tedy odečítala z grafů (exponenciální spojnice trendů), které jsou právě ve výše zmiňovaných pracích.

Tabulka 11: Srovnání velikosti amplitudy vozu T3 [6] [7]

T3			
Autor měření	Šoustal	Matajsz	Řehák
Vzdálenost od koleje [m]	8	8	8
Z [mm/s]	2,0685	1,3145	0,8145
N [mm/s]	1,3142	1,5981	0,9145
E [mm/s]	1,1852	1,6841	0,4872

V tabulce 11 je porovnáván vůz T3. Naměřené hodnoty jsou porovnány s hodnotami z obou bakalářských prací. Z každé bakalářské práce byla vybrána reprezentativní míra amplitudy. U tohoto porovnání nelze zcela přesně určit, zdali se v okolí výhybky vytváří větší míra vibrací nebo nikoliv. Je zde patrné, že ve směru vertikálním (SHZ) lze pozorovat vyšší hodnoty v okolí výhybky. Jelikož tramvaj T3 je jedna z nejstarších typů tramvají, odráží se do vyhodnocení hned několik aspektů. Jednak je to přípovrchová geologie, kde bylo měřeno. Schopnost horniny vést nebo naopak tlumit dynamické rázy od projíždějící soupravy. Jeden z aspektů, který musím zmínit, je i naplněnost vozu a jeho samotný technický stav. Proto zde nelze zcela s jistotou vyvodit závěr, že v okolí tramvajových výhybek jsou dynamické rázy od projíždějících vozů silnější [6] [7].

Tabulka 12: Srovnání velikosti amplitudy vozu ČKD T6A5 [6] [7]

ČKD T6A5				
Autor měření	Šoustal	Šoustal	Matajsz	Matajsz
Vzdálenost od koleje [m]	6	8	6	8
Z [mm/s]	2,6276	2,0882	1,8954	0,8124
N [mm/s]	1,3478	1,3440	2,3945	1,1987
E [mm/s]	1,6180	1,4330	2,3854	0,9425

V tabulce 12 je porovnáván vůz ČKD T6A5. Bohužel u tohoto vozu jsou naměřené hodnoty porovnávány pouze s naměřenými hodnotami od Matajsze. Zde je možnost porovnávat i útlum podloží, bohužel jen ze dvou hodnot, ale i tak se dá rozeznat, že útlum podloží u Matajsze byl větší. Lze jednoznačně konstatovat, že v porovnání s hodnotami Matajsze opět byly naměřeny vyšší hodnoty ve směru vertikálním. Ovšem ve zbylých dvou směrech jsou porovnávány hodnoty větší. [6] [7]

Tabulka 13: Srovnání velikosti amplitudy vozu Inekon 2001 Trio [6] [7]

Inekon 2001 Trio					
Autor měření	Šoustal	Šoustal	Matajsz	Matajsz	Řehák
Vzdálenost od koleje [m]	6	8	6	8	8
Z [mm/s]	3,3842	2,7136	1,1235	0,5914	0,8145
N [mm/s]	2,2381	1,8394	1,1648	0,6148	0,7245
E [mm/s]	1,7474	1,0830	1,2481	0,5872	1,3214

V tabulce 13 je porovnáván vůz Inekon 2001 Trio. Zde jsou převzaty naměřené hodnoty jak od Matajsze tak i od Řeháka. Zde jsou viditelné rozdíly hodnoty amplitudy. Z výsledků lze konstatovat, že tento vůz během přejíždění přes výhybku vyvolává větší dynamické rázy. Ovšem nutno zmínit faktory, které do výsledků vstupují. Technický stav drážního tělesa, technický stav podvozku soupravy a přípovrchová geologie. [6] [7]

Tabulka 14: Srovnání velikosti amplitudy vozu Vario LF [7]

Vario LF		
Autor měření	Šoustal	Řehák
Vzdálenost od koleje [m]	8	8
Z [mm/s]	1,9228	0,6541
N [mm/s]	1,4873	0,9641
E [mm/s]	1,2285	0,4987

V tabulce 14 je porovnáván vůz Vario LF. Hodnoty porovnávány s hodnotami z bakalářské práce Řeháka. Zde je rozdíl v amplitudách zcela markantní. Lze tedy konstatovat, že Vario LF při přejezdu výhybky vyvolává daleko větší vibrace než při jízdě v přímé. Ovšem nutno podotknout, že tento závěr není pravidlem. Hodnoty amplitudy se mohou lišit a velikost je přímo závislá na přípovrchové geologii, stavu drážního tělesa, pojezdové rychlosti a samotného technického stavu vozu. Nesmíme opomenout ani zaplněnost vozu. [7]

Tabulka 15: Srovnání velikosti amplitudy vozu Vario LF3 [7]

Vario LF3		
Autor měření	Šoustal	Řehák
Vzdálenost od koleje [m]	8	8
Z [mm/s]	0,9918	0,7845
N [mm/s]	0,6445	1,0548
E [mm/s]	0,7209	0,6478

V tabulce 15 je porovnáván vůz Vario LF3. Jedná se o modernější vůz ve vozovém parku. Naměřené hodnoty jsou porovnávány s hodnotami od Řeháka. Mezi porovnávanými hodnotami nejsou zcela zásadní rozdíly. Tudíž z tohoto měření nelze stanovit, jestli při přejezdu výhybky jsou vibrace větší nebo nikoli. Vertikální amplituda je sice větší, ale opět nutno zmínit aspekty, které mohou právě výsledky měření značně ovlivňovat. Přípovrchová geologie, stav drážního tělesa, stav vozu, rychlost vozu. [7]

Tabulka 16: Srovnání velikosti amplitudy vozu Inekon 2001 Trio [6] [7]

Inekon 2001 Trio								
Autor měření	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Řehák	Řehák	Matajsz
Vzdálenost od koleje [m]	13	15	13	15	13	13	15	13
Z [mm/s]	1,2830	0,9122	0,9212	0,5241	0,8847	0,1845	0,1654	0,2874
N [mm/s]	1,3461	1,0996	0,8352	0,8074	0,6676	0,1641	0,1487	0,3045
E [mm/s]	0,8546	0,3287	0,5802	0,3831	0,7636	0,2845	0,2745	0,3124

V tabulce 16 je porovnáván vůz Inekon 2001 Trio. V této bakalářské práci je srovnáváno hned několik hodnot. Pro porovnání hodnot byla využita data z bakalářských prací Matajsze a Řeháka. Zde lze konstatovat, že při pojezdu vozu přes výhybku jsou vyvolané větší dynamické rázy oproti tomu, když vůz jede po přímé. Jelikož bylo měřeno ve vzdálenosti 13 a 15 metrů od kolejiště. Velkou roli zde může hrát i přípovrchová geologie a její schopnost tlumení dynamických jevů. [6] [7]

Tabulka 17: Srovnání velikosti amplitudy vozu ČKD T6A5 [6] [7]

ČKD T6A5								
Autor měření	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Řehák	Řehák	Matajsz
Vzdálenost od koleje [m]	13	15	13	15	13	13	15	13
Z [mm/s]	0,8741	0,8311	1,5200	1,0574	0,9109	0,1745	0,1245	0,4651
N [mm/s]	1,1697	0,8426	1,0641	0,9476	0,8485	0,1894	0,1187	0,7854
E [mm/s]	0,7077	0,3660	0,8035	0,7825	0,6324	0,0987	0,0874	1,1478

Tabulka 18: Srovnání velikosti amplitudy vozu Inekon 2001 Trio [7]

Inekon 2001 Trio							
Autor měření	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Šoustal	Řehák	Řehák
Vzdálenost od koleje [m]	13	15	13	15	13	13	15
Z [mm/s]	0,7421	0,5445	1,1969	0,8449	0,8000	0,1874	0,1514
N [mm/s]	0,9265	0,9065	1,0914	0,7347	0,7132	0,2015	0,1451
E [mm/s]	0,6923	0,3030	0,7863	0,4512	0,5442	0,1245	0,0948

O tabulkách 17 a 18, lze konstatovat předchozí tvrzení, že naměřené hodnoty oproti hodnotám z bakalářských prací pana Řeháka a Matajsze jsou zcela rozdílné. [6] [7]

Z porovnání výsledků měření vyplývá, že při přejezdu tramvaje po výhybce jsou vyvolané větší dynamické rázy než při pojezdu tramvaje po přímé. Nutno však dodat, že hodnoty se

mohou měnit s přípovrchovou geologií. Nejedná se o fakt, ale o tvrzení, které je odvozeno z naměřených hodnot. A následně jsou naměřené hodnoty podrobeny srovnání s hodnotami z jiných bakalářských prací. Není zde dogmaticky dané, že vždy během přejezdu tramvaje po výhybce jsou vibrace větší. Ovšem výsledky získané porovnáním z předešlých prací tomu nasvědčují. Jedná se o komplex proměnných, které vstupují do aspektu měření a mohou samotnou maximální hodnotu amplitudy více či méně ovlivnit.

9. ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na dynamické zatížení v okolí tramvajových výhybek. Cílem bylo zjistit seismickou odezvu podloží během průjezdů tramvajových vozů po výhybce in-situ. Aparatury se situovaly do kolmého profilu k tramvajové výhybce. Naměřená data byla vyhodnocena v amplitudové oblasti a následně porovnána s bakalářskými pracemi z předchozích let. Měřilo se ve dvou dnech na celkem šesti lokalitách z toho na lokalitě U Vozovny se prováděla dvě experimentální měření. Výsledkem měření bylo určení míry amplitudy rychlosti kmitání od jednotlivých typů tramvajových vozů. Dále se naměřené hodnoty porovnávaly s bakalářskými pracemi Matajsze a Řeháka. Dále se z naměřených hodnot určil útlum prostředí (jak s rostoucí vzdáleností bude klesat hodnota rychlosti kmitání). Po vyhodnocení je body proložena exponenciální spojnice trendů a určena regrese. Ovšem, musí se brát v potaz veškeré faktory, které vztupují a upravují maximální hodnoty kmitání.

První faktor, který ovlivňuje míru vibrací, je samotný stav vozového parku. Parametry souprav, počet náprav, typ podvozku a rychlost, kterou tramvaj kolem senzorů projíždí. Největší problém u tramvají, je problém, kterému se říká sploštělé kolo. Na kole tramvaje se vytvoří ploška a kolo není tak dokonale kulaté. Styk a přenos vibrací do horninového prostředí zapříčiňuje drážní těleso tramvajového pásu a důležitým faktorem je v jakém stavu se nachází a zda jsou koleje uloženy do násypu nebo zapuštěné s izolačními panely.

Druhý faktor, který přímo ovlivňuje hodnoty amplitudy rychlosti kmitání, je prostředí, v němž se vybrace šíří. Proto byly v programu RockWorks vytvořeny řezy lokalitou a 3D model horninového prostředí v dané lokalitě. 3D modely byly zhotoveny na základě dat, které poskytla Česká geologická služba. Ovšem podle vrtů poskytnutých geofondem nelze zjistit, zda jsou různé anomálie v podloží. Nedokumentovaná betonová deska v podloží, bludný kámen, nezaznačené staré vedení (kanalizace, kolektory). Dalším faktorem v podloží je podzemní voda, kdy přítomnost podzemní vody může vést k přímému ovlivnění naměřených hodnot.

Nutno zmínit hodnoty vibrací, které byly naměřeny od tramvaje Stadler Tango. V porovnání se staršími typy tramvají vyvolává podobné hodnoty amplitudy rychlosti kmitání, ovšem při vyšších průjezdových rychlostí.

Z práce vyplývá, čím je vzdálenost od dynamického zatížení větší, tím jsou amplitudy menší dle útlumu prostředí. Z naměřených hodnot vyplývá, jestliže tramvaj projíždí přes výhybku, vyvolá větší dynamické zatížení. Oproti tramvaji, která jede po přímé nebo hlavní koleji, se potvrdila.

Seznam literatury

- [1] Tramvaje. DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA [online]. Ostrava: Dopravní podnik Ostrava, 2019 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.dpo.cz/o-spolecnosti/vozy/tramvaje.html>
- [2] Vozový park tramvají: Provozní vozy. MHD OSTRAVA [online]. Ostrava, 2021 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://mhd-ostrava.cz/?s=tramvaje>
- [3] BROZ, M., STRUNC, J., MALEK, J., LINDA, M., New generation seismological datalogger BRS32-USB and its application in induced seismicity monitoring. EGRSE J. 2014, XXI/1, 35–47
- [4] Dálkoměry. Dalokohledy-puškohledy.cz [online]. Velká Bíteš: Copyright © Dalekohledy-puškohledy.cz, 2020 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.dalekohledypuskohledy.cz/dalkomery-yukon-extend-lrs1000-p1147?gclid=Cj0KCQjwhZr1BRCLARIsALjRVQP7a1G7BtUBasIGAktiyamDKtpMc2s>
- [5] Český normalizační institut. ČSN 73 0040 - Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Praha, 1996.
- [6] MATAJSZ, Jiří. Vliv horninového prostředí na útlum rychlosti kmitání od dynamických účinků tramvajové dopravy. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební Katedra geotechniky a podzemních staveb. Vedoucí práce Ing. Martin Stolárik, Ph.D.
- [7] ŘEHÁK, Jan. Seizmická odezva tramvajové dopravy v zastavěné oblasti. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební Katedra geotechniky a podzemních staveb. Vedoucí práce Ing. Martin Stolárik, Ph.D.
- [8] KALÁB, Z. Seizmická měření v geotechnice: monografie. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008, 125 s. ISBN 978-80-248-1796-5
- [9] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [online], 2011, Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravnipredpisy/narizeni-c-272-2011-sb-oochrane-zdravi-pred-nepriznivymi-ucinkyhluku-a-vibraci>

- [10] Uživatelská příručka seismického dataloggeru BRS-32. Tedia spol. s.r.o., 2013
- [11] SAMKO, Filip. Dynamické zatížení okolí tramvajové tratě vlivem tramvaje Stadler NF2 nOVA – srovnání se staršími typy tramvají. Ostrava, 2020. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební Katedra geotechniky a podzemních staveb. Vedoucí práce Ing. Martin Stolárik, Ph.D.
- [12] TUCHOLKA, P., KIELBASIŃSKI, K., MIESZKOWSKI, R., Tracing seismic surface waves induced by road traffic in urban environment: example of st. Catherine's church hill in Warsaw, *Geologija*, (2008), pp. 79. DOI: 10.2478/v10056-008-0029-y
- [13] XIA, H., ZHANG, N., CAO, Y.M., Experimental study of traininduced vibrations of environments and buildings, *Journal of Sound and Vibration*, 280 (3-5) (2005), pp. 1017-1029. DOI: 10.1016/j.jsv.2004.01.006
- [14] CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., et al. Geologická minulost České republiky. Vyd. 2., opr. Praha: Academia, 2011, 436 s. ISBN 978-802-0019-615.